

3100096007462

TUGAS AKHIR

STUDI OPTIMASI PENGOPERASIAN

WADUK PACAL

RSS
627.86
1995
S-1
1995



09/10/1995
5740

Oleh :

FRANS WIJAYA

NRP. 392 310 1163

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1995

TUGAS AKHIR
STUDI OPTIMASI PENGOPERASIAN
WADUK PACAL

Mengetahui/Menyetujui
Dosen Pembimbing



(Ir. NADJADJI ANWAR. MSc)

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1995

STUDI OPTIMASI PENGOPERASIAN WADUK PACAL

Oleh : FRANS WIJAYA
NRP. 392 310 1163

ABSTRAK

Waduk Pacal terletak \pm 34 Km di sebelah selatan Kota Bojonegoro yang beroperasi sejak tahun 1934 dengan baku sawah seluas 17.342 Ha, namun secara efektif yang dapat ditanami hanya 15.521 Ha. Besarnya volume tampungan air adalah 41.588.450 m³, oleh karena terjadinya sedimentasi volume efektif menjadi sebesar 34.115.170 m³. Jenis tanaman pada sawah yang diairinya terdiri dari padi, jagung, kedelai dan kacang tanah. Dengan keterbatasan air yang tersedia di waduk, diharapkan dapat memenuhi pemasokan air irigasi terutama pada saat masa tanam kedua (padi gadu) dan saat musim kemarau (palawija). Analisa dilakukan dengan tujuan agar dapat memaksimalkan keuntungan dari penjualan hasil panen, dengan parameter luas baku sawah yang ditanami masing-masing untuk padi, jagung, kedelai dan kacang tanah. Metode yang digunakan adalah Program Linier yang dalam hal ini dihitung dengan menggunakan perangkat lunak Lotus 1-2-3 release 4.0 for Windows dengan fasilitas solver. Output dari perhitungan ini adalah pola distribusi luasan baku sawah masing-masing tanaman dan besarnya keuntungan yang maksimal. Sedangkan analisa sensitivitasnya dihitung dengan menggunakan perangkat lunak TORA. Untuk lebih memberikan gambaran tentang kecukupan air waduk, dilakukan pula simulasi pengoperasian waduk yang didasarkan pada hukum kontinyuitas atau persamaan tampungan massa (mass storage equation).

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, penulis telah dapat menyelesaikan dan menyusun Tugas Akhir ini, sebagai kewajiban untuk memenuhi persyaratan kelulusan sarjana di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Judul dari Tugas Akhir ini adalah "Studi Optimasi Pengoperasian Waduk Pacal", yang terbagi atas 7 bab. Materi yang dibahas adalah meninjau kembali mengenai debit andalan sebagai debit inflow ke waduk, besarnya curah hujan efektif dan perhitungan kebutuhan air untuk irigasi serta melakukan analisa antara ketersediaan air dan kebutuhan air untuk irigasi tersebut.

Bab I, bagian Pendahuluan, memberikan gambaran umum penggunaan air irigasi, latar belakang dan permasalahan yang timbul di dalam pengoperasian Waduk Pacal ini. Bab II memberikan informasi mengenai Waduk Pacal secara umum. Bab III membahas masalah hidrologi daerah studi untuk analisa selanjutnya. Bab IV mengemukakan tentang kebutuhan air irigasi dan melakukan perhitungan kebutuhan air tersebut. Bab V membahas mengenai model optimasi waduk. Bab VI membahas masalah simulasi kapasitas tampungan waduk. Dan bab VII merupakan rangkuman atau kesimpulan dari bahasan-bahasan sebelumnya.

Dengan selesainya laporan Tugas Akhir ini penulis menghaturkan ucapan banyak terima kasih yang sedalam-dalamnya terutama kepada :

1. Bapak Ir. Moesdarjono. MSc, sebagai Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.
2. Bapak Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil FTSP - ITS.
3. Ibu Ir. Anggrahini. MSc, sebagai Ketua Bidang studi Hidroteknik.
4. Bapak Ir. Nadjadji Anwar. MSc, sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Soewardoyo. MSc, sebagai dosen wali.
6. Saudara Baskoro Kurnia Sakti, atas bantuannya dalam hal penjelasan kepada penulis mengenai aplikasi dari perangkat lunak Lotus 1-2-3 release 4.0.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis mudah-mudahan laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang memerlukannya.

Akhir kata penulis sekali lagi mengucapkan terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

Surabaya, September 1995

Penyusun,

(Frans Wijaya)

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i	
Abstrak	iii	
Daftar Isi	iv	
Daftar Tabel	vi	
Daftar Gambar	ix	
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1. Umum	1
	1.2. Latar Belakang	2
	1.3. Identifikasi Masalah	4
	1.4. Pembatasan Masalah	5
	1.5. Perumusan Masalah	6
	1.6. Tujuan dan Kegunaan Hasil Studi	6
BAB II	WADUK PACAL SECARA UMUM	7
	2.1. Lokasi Waduk Pacal	7
	2.2. Keadaan Geografis Waduk Pacal	7
	2.3. Keadaan Bangunan dan Pelengkapannya	9
	2.4. Wilayah Daerah Pengaliran dan Sumber-sumber Air	10
	2.5. Kondisi Geologi dan Hidrologi Waduk Pacal	11
	2.6. Daerah Genangan Waduk Pacal	12
	2.7. Fungsi Waduk Pacal	12
	2.8. Eksploitasi Daerah Irigasi Pacal	13
BAB III	ANALISA HIDROLOGI	19
	3.1. Data Debit Inflow Rerata Bulanan Waduk Pacal	19
	3.2. Perhitungan Debit Andalan	19
	3.3. Perhitungan Curah Hujan	32
	3.3.1. Curah hujan rata-rata	32
	3.3.2. Curah hujan efektif	34
	3.4. Klimatologi	41
	3.5. Perhitungan Evapotranspirasi	57

BAB	IV	ANALISA KEBUTUHAN AIR IRIGASI	68
		4.1. Tinjauan Umum	68
		4.2. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap Kebutuhan Air Irigasi	69
		4.3. Kebutuhan Air di Pintu Pengambilan	77
BAB	V	PERHITUNGAN MODEL OPTIMASI	85
		5.1. Tinjauan Umum	85
		5.2. Model Matematika Optimasi	87
		5.3. Hasil Optimasi	89
		5.4. Analisis Sensitivitas	91
		5.5. Kebutuhan Air Irigasi berdasarkan Hasil Optimasi	92
BAB	VI	SIMULASI KAPASITAS TAMPUNGAN WADUK PACAL	96
		6.1. Analisis Simulasi	96
		6.2. Batasan-batasan	97
		6.3. Langkah-langkah Perhitungan	98
		6.4. Pembahasan	100
BAB	VII	PENUTUP	107
		7.1. Kesimpulan	107
DAFTAR PUSTAKA			109
LAMPIRAN			

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3 . 1 Debit Inflow Rata-rata Bulanan Waduk Pacal (m^3/dt)	21
3 . 2 Debit Inflow Rata-rata Bulanan Waduk Pacal (m^3/dt) Yang Telah Dirangking	22
3 . 3 Perhitungan Debit Andalan Untuk Bulan Januari	25
3 . 4 Debit Andalan Waduk Pacal dengan Peluang 80 %	28
3 . 5 Harga untuk Koefisien Skewness Negatif Distribusi Log Pearson tipe III	26
3 . 6 Harga untuk Koefisien Skewness Positif Distribusi Log Pearson tipe III	27
3 . 7 Uji Smirnov - Kolmogorof Data Debit	28
3 . 8 Harga <i>A kritis</i> untuk uji SMIRNOV-KOLMOGOROV	31
3 . 9 Curah Hujan Bulanan Rata-rata Daerah Waduk Pacal (mm)	35
3 . 10 Curah Hujan Bulanan Rata-rata Daerah Waduk Pacal Setelah Dirangking (mm)	36
3 . 11 Perhitungan R-80 Dengan Metode Log Pearson tipe III untuk Bulan Januari	37
3 . 12 Uji Smirnov - Kolmogorof Data Hujan	39
3 . 13 Tahun Dasar Perencanaan Dengan Cara R-80	43
3 . 14a Curah Hujan Harian Bulan Januari 1981	44
3 . 14b Curah Hujan Harian Bulan Februari 1981	45
3 . 14c Curah Hujan Harian Bulan Maret 1974	46

3 . 14d	Curah Hujan Harian Bulan April 1985	47
3 . 14e	Curah Hujan Harian Bulan Mei 1986	48
3 . 14f	Curah Hujan Harian Bulan Juni 1984	49
3 . 14g	Curah Hujan Harian Bulan Juli 1982	50
3 . 14h	Curah Hujan Harian Bulan Agustus 1981	51
3 . 14i	Curah Hujan Harian Bulan September 1976	52
3 . 14j	Curah Hujan Harian Bulan Oktober 1986	53
3 . 14k	Curah Hujan Harian Bulan Nopember 1974	54
3 . 14l	Curah Hujan Harian Bulan Desember 1981	55
3 . 15	Curah Hujan Efektif & Hujan Efektif Rata-rata	56
3 . 16	Data Temperatur (C)	58
3 . 17	Data Kelembaban Relatif (%)	59
3 . 18	Data Lama Penyinaran Matahari (%)	60
3 . 19	Data Kecepatan Angin (m/dt)	60
3 . 20	Perhitungan Evapotranspirasi berdasarkan Metode Penman	65
3 . 21	Hubungan Suhu (t) dengan ea (m bar), W, (1-W) dan f(t)	66
3 . 22	Besaran Angka ANGOT (Ra) dalam (mm/hari)	67
4 . 1	Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Padi Gadu	78
4 . 2	Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Jagung	79
4 . 3	Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Kedelai	80
4 . 4	Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Kacang Tanah	81
4 . 5	Kebutuhan Air Tanaman dalam lt/dt/Ha	82
4 . 6	Kebutuhan Air untuk Tanaman	83
4 . 7	Analisa Usaha Tani Tiap Hektar Tanaman 1993 Kabupaten Bojonegoro	84

5 . 1	Solver Table Report - Answer Table	93
5 . 2	Sensitivity Analysis	94
5 . 3	Kebutuhan Air untuk Irigasi (Q_{intake})	95
6 . 1	Simulasi Kapasitas Tampungan Waduk Pacal	99
6 . 2	Besarnya Evaporasi Waduk Pacal	100
6 . 3	Volume Inflow dan Outflow Waduk Pacal	104

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema Eksploitasi Daerah Irigasi Pacal	16
Gambar 2.2 D.A.S Waduk Pacal	17
Gambar 2.3 Peta Lokasi studi	18
Gambar 3.1 Uji Smirnov - Kolmogorof Data Debit	29
Gambar 3.2 Uji Smirnov - Kolmogorof Data Hujan	42
Gambar 4.1 Koefisien Tanaman Padi	74
Gambar 4.2 Koefisien Tanaman Buncis, Jagung, Kacang-kacangan dan Kedelai	75
Gambar 6.1 Lengkung Kapasitas Tampungan dan Luas Permukaan Waduk Pacal	105
Gambar 6.2 Grafik Volume Inflow/Outflow Waduk Pacal	106

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Umum

Di dalam pembangunan sesuatu proyek irigasi pada khususnya, atau pada proyek-proyek pengembangan sumber daya air pada umumnya, penentuan banyaknya air yang diperlukan perlulah diketahui dengan pasti secara baik. Pembangunan suatu proyek irigasi banyak memerlukan investasi demikian pula pengelolaan (pengelolaan, operation) dan pemeliharaannya memerlukan pengaturan sebaik-baiknya, maka penggunaan air irigasi tersebut haruslah dilakukan dengan efisien. Banyaknya air yang diperlukan untuk suatu sistem irigasi ditentukan oleh banyak faktor, antara lain cara pemberian air, jenis tanah yang dipergunakan untuk pertanian, cara pengelolaan dan pemeliharaan saluran dan bangunan-bangunan, banyaknya turun hujan, waktu penanaman dan pengolahan tanah.

Titik tolak pertama dari banyaknya air yang diperlukan terletak dari macam tanaman yang akan diberi air, masa pertumbuhan tanaman sampai masa panen sehingga memberikan produksi yang optimal.

Tanaman yang terpenting di Indonesia adalah tanaman padi, sebab padi adalah bahan makanan pokok bagi bangsa Indonesia, dari sebab itu pemberian air untuk keperluan tanaman padi di Indonesia menjadi sesuatu masalah yang sangat penting disamping pula pemberian air kepada tanaman polowijo dan tebu.

Untuk dapat memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut, maka jumlah air yang dikeluarkan harus sesuai dengan banyaknya air yang tersedia di waduk, sehingga diperlukan suatu pedoman pengoperasian waduk yang optimal dengan manfaat yang maksimal. Pedoman ini bisa didekati dengan melakukan optimasi dan simulasi waduk.

1.2 Latar Belakang

Pembuatan waduk merupakan salah satu alternatif pengembangan sumber daya air untuk keperluan air irigasi. Dalam perencanaan ini harus diusahakan agar air yang tersedia mencukupi untuk kebutuhan tanaman dan diharapkan dapat mencapai hasil yang maksimal. Tetapi hal ini sering menjadi masalah dalam pengelolaan waduk untuk kepentingan irigasi. Demikian halnya Waduk Pacal, dalam hal pengoperasiannya ditemukan suatu masalah yaitu tidak sesuainya antara air yang tersedia dengan kebutuhan air irigasi. Hal ini dapat dilihat pada saat musim kemarau, luas tanaman padi tidak dapat mencapai seluruh luasan daerah irigasi.

Waduk Pacal yang terletak di bagian selatan \pm 34 Km dari Kota Bojonegoro dan termasuk dalam Kecamatan Temayang telah beroperasi sejak tahun 1934 dengan baku sawah seluas 17.342 Ha (pada saat ini) di 7 kecamatan yaitu :

- a. Kecamatan Bojonegoro
- b. Kecamatan Kapas
- c. Kecamatan Balen

- d. Kecamatan Sumberejo
- e. Kecamatan Kanor
- f. Kecamatan Baureno
- g. Kecamatan Kepohbaru

Mengingat usia Waduk Pacal beserta jaringan- jaringan perlengkapannya saat ini sudah mencapai ± 60 tahun, sudah pasti di sana-sini banyak terjadi kerusakan baik itu diakibatkan oleh alam ataupun oleh faktor usianya, maupun kerusakan-kerusakan yang terjadi akibat ulah manusianya. Kondisi Waduk Pacal sekarang ini sudah tak mampu menampung air sebesar $41.588.450 \text{ m}^3$, karena cukup banyaknya sedimen yang masuk ke dalam waduk.

Operasi waduk diutamakan untuk tanaman dimusim kemarau (bulan Maret sampai Agustus), kecuali bila ada "*pelatan*" (tidak terjadi hujan lebih dari satu minggu) dimusim rendeng. Eksploitasi ini tidak mampu memberikan air di jaringan irigasi pada bagian hilir seperti di Kecamatan Kanor, Kecamatan Baureno.

Dari berbagai permasalahan yang ada seperti disebutkan di atas, maka timbul gagasan untuk melakukan studi bagi tugas akhir ini yang meliputi : studi neraca air dengan meninjau ketersediaan air dan besarnya pemakaian air untuk irigasi.

Dalam studi ini pengaruh sedimen yang masuk ke dalam waduk tidak ditinjau, tetapi dibatasi hanya sampai dead storage dari waduk (+12.00 Peil Pacal). Air yang dioptimalkan adalah air yang merupakan volume berguna atau volume air yang berada

di atas dead storage. Kenyataan-kenyataan tersebut diatas selanjutnya dipakai sebagai latar belakang dalam pemilihan judul dalam Tugas Akhir ini.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasar pada latar belakang tersebut di atas, maka diperlukan cara pengelolaan air berupa optimasi yang bisa memberikan suatu upaya untuk mengatasi masalah keseimbangan air. Optimasi yang akan dikemukakan di sini adalah kajian optimasi pengembangan Daerah Irigasi Waduk Pacal yang berada di Wilayah Dinas Pengairan Bojonegoro.

Permasalahan pada kajian ini dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Untuk menunjang kelancaran pembagian air dan meningkatkan efisiensi irigasi, maka pada tahun 1989/1990 dilakukan rehabilitasi waduk beserta jaringan irigasi. Dengan adanya perencanaan yang baru ini, maka diperlukan sistem yang baru pula.
2. Daerah irigasi yang luasnya 17.342 Ha terdiri dari daerah banjir seluas 1.821 Ha dan daerah bebas banjir seluas 15.521 Ha. Pada daerah bebas banjir mempunyai pola tanam Padi rendeng - Padi gadu - Palawija. Kebutuhan air untuk padi rendeng dapat tercukupi oleh debit Kali Pacal dan anak-anak sungainya. Tetapi pada saat musim kemarau, air waduk yang tersedia tidak dapat mencukupi jika pada seluruh areal tersebut ditanami padi gadu, sehingga sebagian dari luas areal dirancang

ditanami dengan tanaman lain, dalam hal ini palawija yang terdiri dari jagung, kedelai dan kacang tanah.

Pada studi ini sebagai pokok bahasan adalah mencari luas padi gadu dan palawija yang paling optimal serta sistem pengoperasian waduk yang efektif sehingga air yang tersedia dapat memberi manfaat yang sebesar-besarnya.

1.4 Pembatasan Masalah

Waduk Pacal berfungsi sebagai pengendali banjir, perikanan dan pemasok kebutuhan air irigasi. Pada studi ini menitik beratkan pada optimasi luas tanaman berdasarkan air yang tersedia pada waduk agar diperoleh keuntungan yang maksimal.

Batasan-batasan yang diambil adalah :

1. Daerah Irigasi Waduk Pacal yang akan dioptimalkan hanya pada daerah-daerah bebas banjir yaitu seluas 15.521 Ha dengan pola tanam padi, jagung, kedelai dan kacang tanah.
2. Peubah yang akan dioptimalkan adalah luas tanaman pada saat musim kemarau yaitu bulan Maret sampai dengan Agustus.
3. Peubah yang akan dimaksimalkan adalah besarnya keuntungan dari jenis tanaman pada saat tersebut.
4. Periode pemberian air irigasi adalah sepuluh harian.

5. Diasumsikan pada musim hujan (awal September sampai dengan akhir Februari) kebutuhan air irigasi dapat dipenuhi oleh air hujan, sehingga air yang terdapat di waduk selama musim tersebut akan digunakan dalam studi optimasi ini.

1.5 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam studi dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapa besarnya kebutuhan air untuk tiap-tiap jenis tanaman ?
2. Berapa besarnya debit andalan yang tersedia pada Waduk Pacal untuk irigasi?
3. Agar didapat keuntungan yang maksimal dalam musim kemarau, berapa luas masing-masing jenis tanaman ?
4. Berapa rupiah keuntungan yang didapat ?
5. Bagaimana pengoperasian waduk yang efektif pada kondisi optimum luas tanaman yang didapat ?

1.6 Tujuan Dan Kegunaan Hasil Studi

Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui besarnya luas tanaman yang optimal, sesuai dengan banyaknya air yang tersedia untuk irigasi.

Sedangkan kegunaan hasil studi ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mengoperasikan waduk dan eksploitasi jaringan irigasi, serta menentukan luas tanaman yang paling menguntungkan.

BAB II

WADUK PACAL SECARA UMUM

2.1 Lokasi Waduk Pacal

Waduk Pacal terletak di Dukuh Tretes, desa Kedungsumber, Kecamatan Temayang, Kabupaten Bojonegoro atau tepatnya berjarak ± 34 Km dari Ibukota Kota Kabupaten Bojonegoro, ke arah selatan melewati Kecamatan Dander dan Kecamatan Temayang atau bila melewati arah Timur melalui Kecamatan Balen, Kecamatan Sugihwaras, Kecamatan Temayang.

Sedang jarak tempuh yang diperlukan lebih kurang 1 jam perjalanan yang hampir seluruhnya melewati jalan P.U Kabupaten Bojonegoro.

Ketinggian Waduk Pacal itu sendiri pada peil 25.00 berselisih ± 100 m dari Kota Bojonegoro, dimana Kota Bojonegoro mempunyai ketinggian 15,771 S.H.V.P (Surabaya Haven Vloed Peil).

2.2 Keadaan Geografis Waduk Pacal

Secara umum daerah Waduk Pacal dibatasi oleh :

- ◆ Sebelah Utara : Desa Kedungsumber, Kecamatan Temayang, dan
Desa Sumberejo, Kecamatan Bubulan.

- ◆ Sebelah Timur : Desa Ngondang dan Desa Kalimati, Kecamatan Temayang.
- ◆ Sebelah Barat : Gunung Kitiran dan Gunung Dimoro
- ◆ Sebelah Selatan : Desa Gondang dan Desa Senganten, Kecamatan Bubulan.

Sedangkan sungai-sungai besar yang mengalir dan mempengaruhi Debit Waduk Pacal itu sendiri adalah :

- a. Kali Pacal
- b. Kali Banyu Kuning
- c. Kali Tikung dimana salah satu anak sungai berasal dari sumber Rondonori.
- d. Kali Betek

Dimana kali-kali tersebut terdiri dari Kali Banyu Kuning, Kali Tikung, Kali Betek dan semuanya adalah anak Kali Pacal, dan pada Kali Pacal yang terletak di Dukuh Tretes itulah terletak Bendung Kali Pacal.

Jenis tanah di wilayah genangan Waduk Pacal rata-rata adalah Gromosol dan Litosol berwarna coklat kehitaman dan dalam wilayah genangan inilah semula tertanam pohon-pohon industri antara lain jati dan mahoni. Kemiringan rata-rata untuk daerah genangannya adalah 0,0015 sampai dengan 0,0085 dan dalam kemiringan inilah genangan Waduk Pacal mampu menampung air $\pm 41.558.450 \text{ m}^3$.

2.3 Keadaan Bangunan dan Pelengkapannya

a. Bendung Waduk sepanjang	:	90	m.
b. Menara dan perlengkapannya	:	1	bh.
c. Pintu penguras	:	4	bh.
d. Pintu pengambilan	:	2	bh.
e. Spillway (pelimpah)	:	1	bh.

Jaringan Irigasi :

f. Bendung/Dam	:	3	bh.
g. Saluran Induk	:	28,849	m.
h. Saluran sekunder	:	108.423	m.
i. Saluran Tersier/kwarter	:	820.445	m.
j. Saluran Pembuang	:	95,484	m.
k. Bangunan Bagi	:	2	bh.
l. Bangunan Sadap	:	93	bh.
m. Jembatan	:	92	bh.
n. Bangunan Pelengkap lainnya	:	106	bh.

Data Pelengkap :

o. Isi Waduk Penuh + 25.00 PP	:	41.588.450. m ³ .
p. Isi Waduk Min (Dead Storage Peil + 12.00)	:	7.433.280 m ³ .

q. Tinggi Bendung Waduk	:	+ 28.00	PP.
r. Hujan rata-rata setiap tahun	:	1.900	mm.
s. Panjang Spillway	:	45	m.
t. Panjang jalan inspeksi	:	22.672	Km.

2.4 Wilayah Daerah Pengaliran dan Sumber-sumber Air

Daerah pengaliran Waduk Pacal adalah seluas $\pm 84 \text{ Km}^2$ meliputi wilayah sebagian besar Kecamatan Bubulan, dan sebagian Kecamatan Temayang, yang sebagian besar merupakan kawasan hutan di bawah pengelolaan Administratur Perhutani Bojonegoro. Sedang dari sekian besar wilayah daerah pengaliran tersebut ditampung oleh Kali Pacal dengan anak-anak kalinya antara lain :

- ◆ Kali Betek termasuk wilayah Kecamatan Temayang.
- ◆ Kali Tikung termasuk wilayah Kecamatan Bubulan.
- ◆ Kali Banyu Kuning termasuk wilayah Kecamatan Bubulan.

Sedangkan sumber-sumber yang mempengaruhi daerah pengaliran Waduk Pacal adalah sumber Randomori, Kecamatan Bubulan, namun pada saat musim kemarau tidak sempat mengalir ke Waduk Pacal karena airnya dari sumber tersebut dimanfaatkan oleh penduduk sekitarnya dengan areal $\pm 50 \text{ Ha}$.

2.5 Kondisi Geologi dan Hidrologi Waduk Pacal

2.5.1 Geologi

Seperti halnya disampaikan dimuka bahwa tanah dalam genangan Waduk Pacal adalah Gromosol dan Litosol berwarna coklat kehitaman dengan dataran alufial hingga pertemuan Kali pacal dan Bengawan Solo, dan pada daerah genangan umumnya terdapat batuan dasar dari batuan lempung yang bersifat gamping, napal dan batu gamping yang pada permukaan tanahnya menunjukkan proses pelapukan dan membentuk tanah lumpur lembek, terkecuali pada daerah bukit-bukit Sandar kiri dan kanan yang merupakan tanah berlapis antara batu-batu kapur/gamping dan tanah list / clay margalit.

Dari keadaan tanah tersebut maka pada saat itu kekhawatiran terjadi kebocoran mungkin terjadi pada tanah berlapis, khususnya yang berbatu kapur pada bukit sandar, sehingga pada saat itu telah dilakukan Blankit Grouting yang berguna untuk mengikat antara dua macam kondisi tanah yang berbeda, sehingga diharapkan dengan adanya Grouting tersebut relatif kecil kemungkinan terjadinya kebocoran pada daerah bukit sandar.

2.5.2 Hidrologi

Pada saat perencanaan pembangunan Waduk Pacal pengamatan hujan yang ada hanyalah di Dukuh Tretes, Desa Kedungsumber, dimana pengamatan tersebut

diadakan sejak tahun 1889 dan dari pengamatan selama 25 tahun (sampai dengan tahun 1914) rata-rata hujan yang terjadi di Tretes adalah sebesar 2100 mm (pada saat ini data tersebut tidak ada, tinggal catatan yang berupa evaluasi rata-rata selama 25 tahun).

2.6 Daerah Genangan Waduk Pacal

Kawasan genangan Waduk Pacal meliputi sebagian wilayah Kecamatan Bubulan, sebagian lagi di wilayah Kecamatan Temayang, dengan luas genangan semuanya adalah 387,8 ha atau 3,878 Km², pada ketinggian 115 SHVP (+ 25,00 Peil Pacal).

2.7 Fungsi Waduk Pacal

Waduk Pacal pada dasarnya adalah berfungsi untuk Eksploitasi Irigasi pada musim kemarau (bulan Maret sampai dengan bulan Agustus) dimana pada saat ini Waduk Pacal mampu dikonsumsi air sebesar $\pm 35.000.000 \text{ m}^3/\text{tahun}$ dengan luas baku sawah sebesar 17.342 Ha, yang terletak di Wilayah 7 (tujuh) Kecamatan, dengan pola tanamnya sebagai berikut :

- a. Padi - Padi - Palawija
- b. Padi - Palawija - Palawija
- c. Banjir - Padi - Padi (untuk daerah irigasi yang rutin terkena banjir)

Sedangkan di sisi lain Waduk Pacal dimanfaatkan pula untuk perikanan, dimana setiap tahunnya penebaran bibitnya dilakukan oleh Dinas Perikanan yang hasilnya disamping dapat menambah gizi masyarakat sekitarnya, dilain pihak dapat pula menambah pendapatan masyarakat sekitar waduk.

Sedangkan untuk tempat pengembangan pariwisata ataupun tempat berekreasi untuk masyarakat Bojonegoro, Nganjuk dan sekitarnya, Pemerintah Daerah baru berusaha untuk menanganinya secara bertahap khususnya dalam hal perbaikan jalan menuju lokasi waduk, baik dari arah Utara (Kwabupaten Bojonegoro) ataupun dari arah selatan (Kabupaten Nganjuk).

2.8 Eksploitasi Daerah Irigasi Pacal

Sistem jaringan irigasi pada Daerah Irigasi Pacal yang mendapatkan air irigasi berasal dua sumber air, yaitu sumber air permukaan yang berasal dari Dam Klepek, Dam Mekuris dan Dam Kerjo. Dam-dam ini berada dibagian hilir dari Waduk Pacal. Kali Pacal selain merupakan sungai alam yang menampung base-flow dari daerah pengaliran, sungai ini juga berfungsi sebagai saluran yang menampung air yang dikeluarkan oleh Waduk Pacal.

Karakteristik sumber air permukaan pada daerah irigasi Pacal ini aliran sungai yang berada di daerah kapur (kwarst), sehingga aliran base flow pada musim kemarau tidak dapat diharapkan untuk sumber air irigasi, sehingga sumber air irigasi utama bagi

Daerah Irigasi Pacal pada musim kemarau adalah air irigasi yang berasal dari Waduk Pacal. Secara skematis Daerah Irigasi Pacal dapat dilihat pada gambar 2.1.

Eksplotasi irigasi pada Daerah Irigasi Pacal ini dibagi menjadi empat jaringan irigasi, yaitu :

(1) Jaringan Irigasi Pacal Kiri

Jaringan irigasi Pacal ini berasal dari Dam Klepek, yang kemudian dialirkan melalui Saluran Induk Pacal Kiri (2207 Ha).

(2) Jaringan Irigasi Pacal Kanan

Jaringan irigasi Pacal ini berasal dari Dam Klepek, yang kemudian dialirkan melalui Saluran Induk Pacal Kanan (5590 Ha).

(3) Jaringan Irigasi Mekuris

Jaringan irigasi Mekuris dimulai dari Dam Mekuris, dan air irigasi disalurkan melalui Saluran Induk Mekuris (7587 Ha). Selain air irigasi berasal dari daerah pengaliran sungai Mekuris, juga mendapat suplesi dari Waduk Pacal melalui Saluran Induk Pacal Kanan dan diteruskan oleh saluran Suplesi Mekuris ke Dam Mekuris.

(4) Jaringan Irigasi Kerjo

Jaringan irigasi Kerjo berasal dari Dam Kerjo, yang kemudian membentuk Saluran Induk Kerjo/Brangkal (1958 Ha), air irigasi diharapkan mendapat suplesi dari Waduk Pacal melalui saluran suplesi Kerjo.

Penggunaan air dari Waduk Pacal diutamakan hanya untuk musim kemarau yaitu dari bulan Maret sampai dengan bulan Agustus. Pada musim penghujan kebutuhan air irigasi dapat disuplai dari air hujan untuk ke seluruh jaringan irigasi, sedangkan waduk dalam keadaan penuh untuk penggunaan pada musim kemarau berikutnya.

BAB III

ANALISA HIDROLOGI

Dalam analisa hidrologi ini akan dibahas mengenai perhitungan debit andalan waduk, curah hujan efektif, dan keadaan klimatologi daerah studi (stasiun klimatologi Bojonegoro), serta perhitungan evapotranspirasi yang terjadi pada daerah irigasi.

3.1 Data Debit Inflow Rerata Bulanan Waduk Pacal

Untuk menghitung besarnya debit andalan pada Waduk Pacal, dalam perhitungan ini digunakan data debit rerata bulanan. Data yang tersedia mulai dari tahun 1966 sampai dengan tahun 1983, seperti yang tercantum dalam tabel 3.1 dan tabel 3.2.

3.2 Perhitungan Debit Andalan

Debit andalan diartikan sebagai debit tersedia yang dapat diperhitungkan guna keperluan tertentu (seperti irigasi, PLTA, air minum dan lain-lain) sepanjang tahun, dengan resiko yang telah diperhitungkan. Jadi, kalau misalnya ditetapkan debit andalan sebesar 80 % berarti akan dihadapi resiko adanya debit-debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20 % pengamatan (CD. Soemarto, 1981 :214). Perhitungan debit andalan di sini dimaksudkan untuk mencari besarnya debit yang tersedia untuk keperluan penyediaan air irigasi. Untuk keperluan ini akan dicari besarnya debit

andalan bulanan dengan tingkat keandalan 80 %. Dengan demikian diharapkan debit tersebut cukup layak untuk keperluan penyediaan air irigasi.

Metode yang akan dipakai adalah metode analisa frekuensi Log Pearson Tipe

III. Dipilihnya metode ini karena di dalam perhitungannya tidak ada batasan-batasan khusus terhadap data yang tersedia.

Adapun langkah-langkah perhitungan debit andalan setiap bulannya adalah sebagai berikut :

1. Merangking data mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil (tabel 3.2).
2. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan menggunakan persamaan Gumbel-Weibull, yaitu :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100 \% \quad (3-1)$$

dengan :

P = peluang (%)

m = nomor urut (rangking)

n = jumlah data

Sedangkan cara mendapatkan debit andalan dengan metode analisa frekuensi

Log Person Tipe III adalah sebagai berikut :

1. Mengubah data debit bulanan sebanyak n buah ($Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$) yang telah diurutkan menjadi $\log Q_1, \log Q_2, \log Q_3, \dots, \log Q_n$.

Tabel 3.1 Debit Inflow Rata-Rata Bulanan Waduk Pacal (m³/dt)

No.	Tahun	Bulan												Rata-rata
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	
1	1966	4.63	4.48	9.05	1.74	0.43	1.98	0.29	0.13	0.06	0.80	1.68	3.01	2.36
2	1967	4.72	3.43	2.97	2.47	0.27	0.16	0.07	0.03	0.00	0.01	0.02	3.07	1.43
3	1968	5.80	4.24	6.35	3.77	2.09	2.03	1.63	0.75	0.25	0.34	1.58	2.24	2.59
4	1969	1.72	7.98	8.62	2.25	0.74	0.47	0.22	0.18	0.10	0.94	0.73	1.56	2.13
5	1970	1.99	5.94	7.45	1.49	2.33	0.49	0.37	0.12	0.24	0.07	1.81	1.56	1.99
6	1971	5.58	5.36	3.31	2.31	2.18	0.33	0.13	0.06	0.04	0.83	0.92	8.31	2.45
7	1972	2.88	2.58	2.30	1.27	3.80	2.28	0.14	0.06	0.02	0.00	0.13	3.19	1.55
8	1973	4.32	7.20	7.67	4.69	5.61	0.63	0.49	0.16	0.44	0.22	0.23	3.10	2.90
9	1974	0.98	4.28	2.39	3.01	1.47	0.18	0.11	0.15	0.98	0.83	0.98	2.91	1.52
10	1975	7.54	5.53	10.06	12.58	5.34	0.40	0.11	0.04	0.08	0.98	1.93	5.70	4.19
11	1976	1.29	0.75	3.86	1.43	0.27	0.16	0.06	0.02	0.35	0.92	0.82	0.71	0.89
12	1977	2.64	3.94	3.56	3.58	0.67	0.92	0.27	0.13	0.08	0.04	0.13	0.57	1.38
13	1978	6.59	4.82	1.93	1.77	0.64	3.87	0.79	0.42	0.46	0.31	0.24	6.41	2.35
14	1979	10.39	4.92	1.38	5.70	4.97	1.43	0.47	0.32	0.16	0.44	1.01	2.09	2.77
15	1980	1.66	3.26	1.78	1.55	0.49	0.27	0.32	0.22	0.11	0.03	1.68	7.73	1.59
16	1981	2.12	2.51	1.59	0.63	1.13	0.38	0.49	0.16	0.19	0.03	0.60	1.01	0.90
17	1982	5.43	5.97	8.34	6.21	0.37	0.34	0.16	0.11	0.00	0.00	0.00	1.90	2.40
18	1983	5.15	5.16	4.54	4.69	5.12	0.27	0.00	0.02	0.02	0.04	5.45	3.77	2.85
Rata-rata		4.19	4.58	4.84	3.40	2.11	0.92	0.34	0.17	0.20	0.38	1.11	3.27	2.12

Sumber : Proyek Bengawan Soto Hilir Bojonegara

Tabel 3.2 Debit Inflow Rata-Rata Bulanan Waduk Pacal (m³/dt)
Yang Telah Dirangking

No. urut	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nop	Des
1	10.39	7.98	10.06	12.58	5.61	3.87	1.63	0.75	0.98	0.98	5.45	8.31
2	7.54	7.20	9.05	6.21	5.34	2.28	0.79	0.42	0.46	0.94	1.93	7.73
3	6.59	5.97	8.62	5.70	5.12	2.03	0.49	0.32	0.44	0.92	1.81	6.41
4	5.80	5.94	8.34	4.69	4.97	1.98	0.49	0.22	0.35	0.83	1.68	5.70
5	5.58	5.53	7.67	4.69	3.80	1.43	0.47	0.18	0.25	0.83	1.68	3.77
6	5.43	5.36	7.45	3.77	2.33	0.92	0.37	0.16	0.24	0.80	1.58	3.19
7	5.15	5.16	6.35	3.58	2.18	0.63	0.32	0.16	0.19	0.44	1.01	3.10
8	4.72	4.92	4.54	3.01	2.09	0.49	0.29	0.15	0.16	0.34	0.98	3.07
9	4.63	4.82	3.86	2.47	1.47	0.47	0.27	0.13	0.11	0.31	0.92	3.01
10	4.32	4.48	3.56	2.31	1.13	0.40	0.22	0.13	0.10	0.22	0.82	2.91
11	2.88	4.28	3.31	2.25	0.74	0.38	0.16	0.12	0.08	0.07	0.73	2.24
12	2.64	4.24	2.97	1.77	0.67	0.34	0.14	0.11	0.08	0.04	0.60	2.09
13	2.12	3.94	2.39	1.74	0.64	0.33	0.13	0.06	0.06	0.04	0.24	1.90
14	1.99	3.43	2.30	1.55	0.49	0.27	0.11	0.06	0.04	0.03	0.23	1.56
15	1.72	3.26	1.93	1.49	0.43	0.27	0.11	0.04	0.02	0.03	0.13	1.56
16	1.66	2.58	1.78	1.43	0.37	0.18	0.07	0.03	0.02	0.01	0.13	1.01
17	1.29	2.51	1.59	1.27	0.27	0.16	0.06	0.02	0.00	0.00	0.02	0.71
18	0.98	0.75	1.38	0.63	0.27	0.16	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.57

Sumber : Hasil Perhitungan

2. Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\overline{\log Q} = \frac{\sum_{i=1}^n \log Q_i}{n} \quad (3-2)$$

3. Menghitung harga simpangan bakunya dengan rumus :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log Q_i - \overline{\log Q})^2}{n-1}} \quad (3-3)$$

4. Menghitung koefisien kemiringan Skewness dengan rumus :

$$C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\log Q_i - \overline{\log Q})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S_i^3} \quad (3-4)$$

5. Menghitung logaritma debit dengan keandalan yang dikehendaki dengan rumus :

$$\log Q = \overline{\log Q} + G \cdot S_i \quad (3-5)$$

Harga G dapat diperoleh dari tabel 3.5 untuk harga-harga C_s negatif, dan tabel 3.6 untuk harga-harga C_s positif.

6. Menghitung antilog dari logaritma debit untuk mendapatkan debit andalan dari peluang yang dikehendaki.

Berikut ini contoh perhitungan debit andalan untuk bulan Januari sebagai berikut:

- jumlah data $n = 18$
- dari hasil perhitungan seperti tabel 3.3 diperoleh :
 - * Harga rata-rata $(\overline{\log Q}) = 0.539$
 - * Harga simpangan baku (S_i)

$$S_i = \sqrt{\frac{1.427}{18-1}} = 0.290$$

* Koefisien Skewness (Cs)

$$C_s = \frac{18 \cdot (-0.123)}{(18-1) \cdot (18-2) \cdot (0.290)^3} = -0.333$$

- Untuk peluang 80 %, dengan cara interpolasi dari tabel 3.5 diperoleh $G = -0.821$
- Harga-harga tersebut dimasukkan dalam persamaan 3-5 :

$$\begin{aligned} \text{Log } Q &= 0.539 + (-0.821) \cdot (0.290) \\ &= 0.30091 \end{aligned}$$

$$Q = 2.00 \text{ m}^3/\text{dt.}$$

Untuk perhitungan debit andalan dengan peluang kejadian (80%) untuk bulan-bulan yang lain disajikan dalam tabel 3.4.

Untuk dapat mengetahui, apakah data tersebut sesuai dengan jenis agihan teoritis yang dipilih (Log Pearson Tipe III), maka perlu diadakan uji kesesuaian. Ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk uji ini. Dalam studi ini hanya dipakai salah satu cara yaitu uji Smirnov-Kolmogorov. Pemilihan cara tersebut didasarkan atas penggunaannya yang cukup mudah, lagi pula tidak memerlukan data khusus lain sebagai penunjang.

Pengujian kesesuaian cara Smirnov-Kolmogorov ini dilakukan dengan membandingkan peluang yang paling maksimum antara distribusi empiris dan teoritisnya. Dalam bentuk rumus dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta \text{ max} = | P_e - P_t |$$

Tabel 3.3 Perhitungan Debit Andalan untuk bulan Januari

No. urut	Debit Q (m ³ /dt)	Log Q	$(\log Q_i - \log Q)^2$	$(\log Q_i - \log Q)^3$	P 100 m/(n+1) (%)
1	10.39	1.017	0.228	0.109	5.263
2	7.54	0.877	0.114	0.039	10.526
3	6.59	0.819	0.078	0.022	15.789
4	5.80	0.763	0.050	0.011	21.053
5	5.58	0.747	0.043	0.009	26.316
6	5.43	0.735	0.038	0.007	31.579
7	5.15	0.712	0.030	0.005	36.842
8	4.72	0.674	0.018	0.002	42.105
9	4.63	0.666	0.016	0.002	47.368
10	4.32	0.635	0.009	0.001	52.632
11	2.88	0.459	0.006	-0.001	57.895
12	2.64	0.422	0.014	-0.002	63.158
13	2.12	0.326	0.045	-0.010	68.421
14	1.99	0.299	0.058	-0.014	73.684
15	1.72	0.236	0.092	-0.028	78.947
16	1.66	0.220	0.102	-0.033	84.211
17	1.29	0.111	0.184	-0.079	89.474
18	0.98	-0.009	0.300	-0.165	94.737
Rata-rata		0.539			
Jumlah			1.427	-0.123	

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.5 Harga untuk koefisien Skewness negatif
distribusi Log Pearson tipe III

skew Coeff (Cs)	Recurrence Interval in Years										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	5	10	25	50	100	200
	Percent Chance										
	99	95	90	80	50	20	10	5	2	1	0.5
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.836	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.943	2.178	2.388
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.953	2.108
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.133	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	-3.022	-1.877	-1.340	-0.758	0.164	0.853	1.128	1.366	1.492	1.538	1.664
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1.324	1.433	1.518	1.581
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.690	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.127	1.216
-1.7	-3.446	-1.972	-1.324	-0.660	0.268	0.808	0.970	1.073	1.116	1.100	1.155
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.030	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.627	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.886	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.859
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.845	-2.012	-1.250	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.499	0.368	0.747	0.747	0.766	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	-2.017	-1.224	-0.479	0.376	0.724	0.724	0.739	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.972	-2.010	-1.210	-0.460	0.384	0.702	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.440	0.390	0.681	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.051	-2.003	-1.180	-0.420	0.396	0.660	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667

Sumber: Soemarto, 1987:247

Tabel 3.6 Harga untuk koefisien Skewness positif
distribusi Log Pearson tipe III

Skew Coeff (Cs)	Recurrence Interval in Years										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	3	10	25	50	100	200
	Percent Chance										
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.395	0.420	1.180	2.276	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.653	-0.390	0.440	1.193	2.277	3.134	4.033	4.909
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.134	3.979	4.847
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.716
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.726	-0.352	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.343	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.706	4.444
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-1.168	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.753	3.132
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.853	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.844	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	-0.000	0.842	1.282	1.753	2.054	2.326	2.576

Sumber: Soemarto, 1987:246

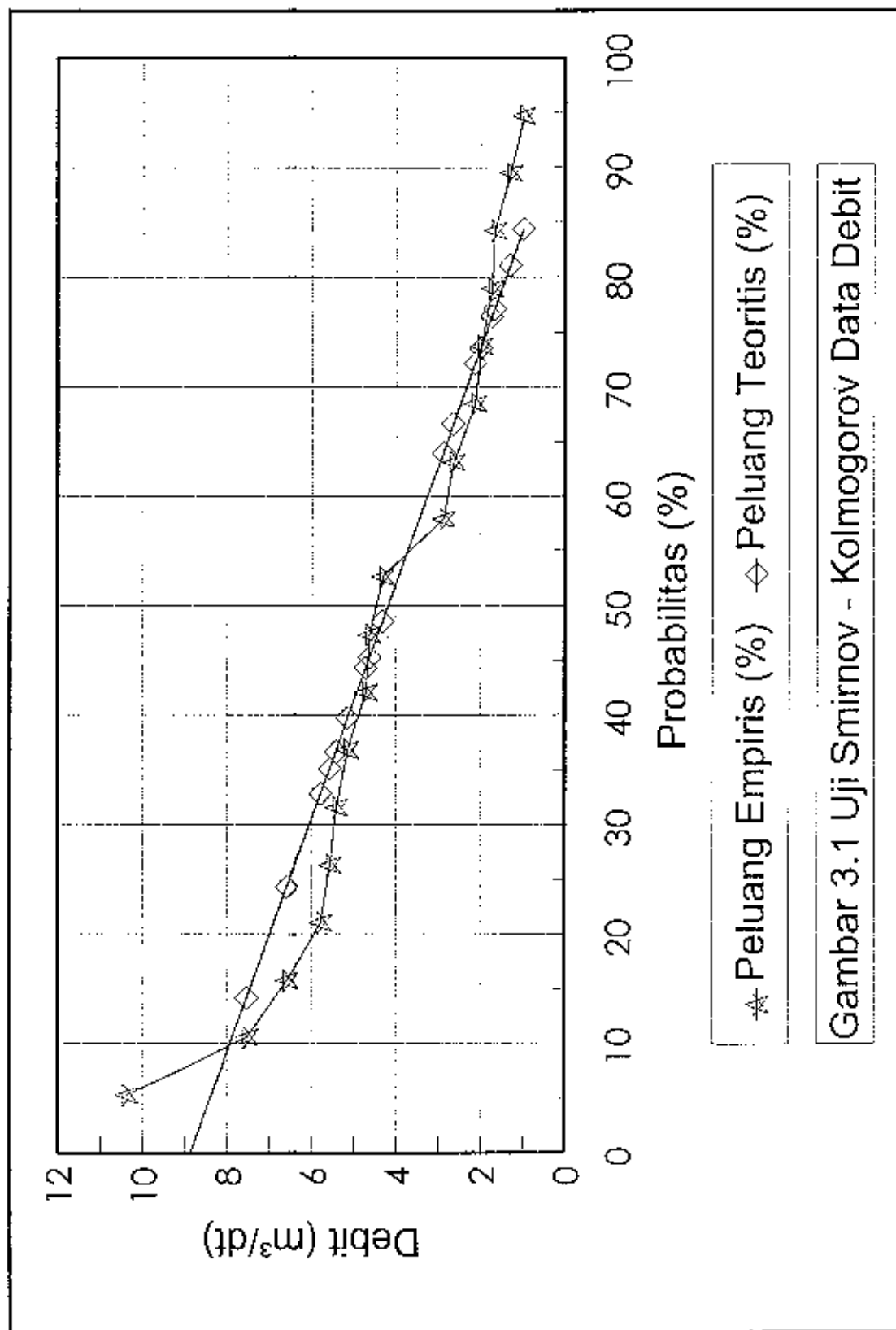
Tabel 3.4 Debit Andalan Waduk Pacal
dengan Peluang 80 %

No.	Bulan	Debit Andalan (m ³ /dt)
1	Januari	2.00
2	Februari	3.02
3	Maret	2.27
4	April	1.45
5	Mei	0.52
6	Juni	0.25
7	Juli	0.12
8	Agustus	0.05
9	September	0.05
10	Oktober	0.06
11	Nopember	0.23
12	Desember	1.37

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.7 Uji Smirnov - Kolmogorof Data Debit

No.	Data Debit (m ³ /dt)	Peluang Empiris (%)	Peluang Teoritis (%)	Pe - Pt (%)
1	10.39	5.263	-16.340	21.60
2	7.54	10.526	14.158	3.63
3	6.59	15.789	24.324	8.53
4	5.80	21.053	32.777	11.72
5	5.58	26.316	35.132	8.82
6	5.43	31.579	36.737	5.16
7	5.15	36.842	39.733	2.89
8	4.72	42.105	44.334	2.23
9	4.63	47.368	45.298	2.07
10	4.32	52.632	48.615	4.02
11	2.88	57.895	54.024	6.13
12	2.64	63.158	66.592	3.43
13	2.12	68.421	72.157	3.74
14	1.99	73.684	73.548	0.14
15	1.72	78.947	76.437	2.51
16	1.66	84.211	77.079	7.13
17	1.29	89.474	81.039	8.44
18	0.98	94.737	84.356	10.38



dengan :

Δ_{max} = selisih maksimum antara peluang empiris dan peluang teoritis.

P_e = peluang empiris

P_t = peluang teoritis

Apabila $\Delta_{max} < \Delta_{cr}$, berarti agihan frekuensi tersebut dapat diterapkan untuk data yang ada.

Pengujian Smirnov-Kolmogorov

Untuk menentukan besarnya peluang teoritis dari data yang ada, dilakukan analisa regresi dari peluang empirisnya, dengan persamaan regresinya sebagai berikut :

$$Y = -10.009 X + 94.84282$$

adapun : Y = peluang teoritis (%)

X = besarnya debit yang telah dirangking seperti pada tabel 3.2 (m^3/dt)

Hasil perhitungan regresi ini ditampilkan seperti pada tabel 3.7

- Dari perhitungan tabel 3.7, diperoleh simpangan probabilitas maksimum (Δ_{max}) =
 $21,60 \% = 0.2160$
- Untuk $n = 18$ dan $\alpha = 5 \%$, dari tabel 3.8 dengan cara interpolasi didapat $\Delta_{cr} =$
 0.31
- Karena $\Delta_{max} < \Delta_{cr}$, maka dapat disimpulkan bahwa agihan Log Pearson tipe III dapat diterima guna perhitungan debit andalan.

Tabel 3.8 harga Δ_{kritis} untuk uji SMIRNOV-KOLMOGOROV

$n \backslash \alpha$	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$n > 50$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber : Sri Harto B.R, 1983: 182

3.3 Perhitungan Curah Hujan

3.3.1 Curah Hujan Rata-rata

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm. Curah hujan ini harus diperkirakan dari beberapa stasiun pengamatan. (Sosrodarsono, 1980 :27)

Dalam studi ini, untuk keperluan analisis curah hujan diambil dari 4 stasiun penakar hujan yang terdapat di daerah pengaliran waduk (lihat gambar 2.2).

Stasiun-stasiun tersebut adalah :

1. Stasiun Tretes
2. Stasiun Sugihan
3. Stasiun Gondang
4. Stasiun Sukun

Stasiun-stasiun tersebut terletak menyebar pada daerah aliran waduk, sehingga perhitungan curah hujan daerah berdasarkan metode Thiessen. Perhitungan tersebut menggunakan rumus : (Sosrodarsono, 1980 :27).

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \\ &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A} \\ &= W_1 R_1 + W_2 R_2 + \dots + W_n R_n\end{aligned}$$

adapun :

- \bar{R} = curah hujan rencana
- R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan di tiap stasiun pengamatan dan n adalah jumlah stasiun pengamatan
- A_1, A_2, \dots, A_n = luasan daerah yang mewakili tiap stasiun pengamatan
- W_1, W_2, \dots, W_n = bobot luas terhadap luas total daerah pengaliran untuk masing-masing stasiun (%)
- = $\frac{A_1}{A}, \frac{A_2}{A}, \dots, \frac{A_n}{A}$
- (dalam hal ini 19,5 % untuk stasiun Tretes, 23 % untuk stasiun Sugihan, 28,5% untuk stasiun Gondang dan 29 % stasiun Sukun)

Data curah hujan yang akan digunakan untuk menentukan curah hujan efektif harus dikumpulkan paling sedikit selama 10 tahun (Sosrodarsono, 1980:27).

Dalam studi ini data hujan yang tersedia untuk masing-masing stasiun adalah selama 15 tahun, mulai tahun 1974 sampai dengan tahun 1988. Selanjutnya data curah hujan bulanan rata-rata keempat stasiun dapat dilihat pada tabel 3.9.

3.3.2 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat dipergunakan tanaman untuk pertumbuhannya. Perkiraan curah hujan efektif dihitung berdasarkan R_{80} artinya curah hujan yang 80 % disamai atau dilampaui.

Metode yang dipakai adalah:

1. Cara empiris :

$$R_{80} = n/5 + 1$$

adapun :

$$R_e = R_{80} = \text{curah hujan efektif } 80 \%$$

$$n/5 + 1 = \text{ranking curah hujan efektif } R_e \text{ dihitung dari urutan terkecil}$$

$$n = \text{jumlah data}$$

2. Cara Statistik :

Dengan analisa curah hujan bulanan dapat diperkirakan curah hujan efektif yang 80 % disamai atau dilampaui. Metode yang dapat digunakan antara lain metode Gumbel, Hazen dan Log Pearson tipe III.

Dalam studi ini untuk mencari R_{80} digunakan cara statistik dengan metode Log Pearson tipe III. Pemilihan cara statistik ini dikarenakan semua data yang ada dimasukkan ke dalam perhitungan sehingga dapat digunakan untuk berbagai macam keadaan. Sedangkan dipakainya metode Log Pearson tipe III karena dalam metode ini tidak ada batasan-batasan khusus terhadap data yang ada. Cara perhitungan adalah seperti pada perhitungan debit andalan.

Berikut ini diberikan perhitungan R_{80} untuk bulan Januari seperti pada tabel

3.11.

- jumlah data $n = 15$

Tabel 3.9 Curah Hujan Bulanan Rata-rata Daerah Waduk Pacal (mm)

No.	Tahun	Bulan											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	1974	91.0	185.1	187.0	196.5	127.0	34.5	43.0	190.5	58.0	101.5	100.5	333.0
2	1975	253.6	259.7	412.2	576.8	331.5	40.0	63.0	0.0	0.0	262.0	391.0	370.5
3	1976	89.0	49.5	107.0	34.5	18.0	0.0	0.0	0.0	12.0	63.0	272.0	245.9
4	1977	386.0	182.6	409.5	342.1	130.2	118.5	0.0	0.0	0.0	0.0	166.0	365.0
5	1978	634.0	414.5	238.5	292.0	361.5	472.4	455.0	422.5	163.5	489.0	327.0	819.1
6	1979	397.3	472.9	453.5	330.0	622.7	230.5	0.0	0.0	0.0	390.0	396.8	523.4
7	1980	863.0	862.8	718.5	711.0	131.0	69.5	93.0	299.5	5.0	181.5	570.3	491.4
8	1981	114.6	136.1	167.7	92.1	75.9	107.5	35.5	10.1	49.6	23.4	220.5	147.1
9	1982	251.4	290.8	265.2	346.8	0.0	0.0	20.3	0.0	0.0	0.0	15.3	333.9
10	1983	387.8	389.8	258.5	318.3	385.7	0.0	0.0	0.0	0.0	92.0	404.3	319.0
11	1984	324.9	390.3	337.7	114.9	80.7	6.7	18.9	77.6	81.8	67.7	96.9	376.2
12	1985	199.2	203.1	382.7	92.8	135.9	87.7	64.6	25.1	16.7	129.9	212.7	126.1
13	1986	280.3	349.5	472.1	353.5	31.7	136.1	0.0	0.0	72.1	33.7	177.0	136.1
14	1987	279.3	371.5	237.3	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	139.7	294.9
15	1988	534.1	105.5	255.2	74.0	191.5	30.6	16.0	32.3	0.0	185.8	200.3	283.9

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.10 Curah Hujan Bulanan Rata-rata Daerah Waduk Pacal
Setelah dirangking (mm)

No.	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	863.0	862.8	718.5	711.0	622.7	472.4	455.0	422.5	163.5	489.0	570.3	819.1
2	634.0	472.9	472.1	576.8	385.7	230.5	93.0	299.5	81.8	390.0	404.3	523.4
3	534.1	414.5	453.5	353.5	361.5	136.1	64.6	190.5	72.1	262.0	396.8	491.4
4	397.3	390.3	412.2	346.8	331.5	118.5	63.0	77.6	58.0	185.8	391.0	376.2
5	387.8	389.8	409.5	342.1	191.5	107.5	43.0	32.3	49.6	181.5	327.0	370.5
6	386.0	371.5	382.7	330.0	135.9	87.7	35.5	25.1	16.7	129.9	272.0	365.0
7	324.9	349.5	337.7	318.3	131.0	69.5	20.3	10.1	12.0	101.5	220.5	333.9
8	280.3	290.8	265.2	292.0	130.2	40.0	18.9	0.0	5.0	92.0	212.7	333.0
9	279.3	259.7	258.5	196.5	127.0	34.5	16.0	0.0	0.0	67.7	200.3	319.0
10	253.6	203.1	255.2	114.9	80.7	30.6	0.0	0.0	0.0	63.0	177.0	294.9
11	251.4	185.1	238.5	92.8	75.9	6.7	0.0	0.0	0.0	33.7	166.0	283.9
12	199.2	182.6	237.3	92.1	31.7	0.0	0.0	0.0	0.0	23.4	139.7	245.9
13	114.6	136.1	187.0	74.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.5	147.1
14	91.0	105.5	167.7	34.5	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	136.1
15	89.0	49.5	107.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	126.1

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3.11 Perhitungan R-80 Dengan Metode Log Pearson Tipe III
untuk bulan Januari

No. urut	Curah Hujan (mm)	Log Xi	$(\text{Log Xi} - \text{Log X})^2$	$(\text{Log Xi} - \text{Log X})^3$	P 100m/(n+1) (%)
1	863.0	2.936	0.238	0.116	6.250
2	634.0	2.802	0.126	0.044	12.500
3	534.1	2.728	0.078	0.022	18.750
4	397.3	2.599	0.023	0.003	25.000
5	387.8	2.589	0.020	0.003	31.250
6	386.0	2.587	0.019	0.003	37.500
7	324.9	2.512	0.004	0.000	43.750
8	280.3	2.448	0.000	-0.000	50.000
9	279.3	2.446	0.000	-0.000	56.250
10	253.6	2.404	0.002	-0.000	62.500
11	251.4	2.400	0.002	-0.000	68.750
12	199.2	2.299	0.022	-0.003	75.000
13	114.6	2.059	0.151	-0.059	81.250
14	91.0	1.959	0.239	-0.117	87.500
15	89.0	1.949	0.248	-0.124	93.750
Rata-rata		2.448			
Jumlah			1.173	-0.111	

Sumber : Hasil Perhitungan

- dari hasil perhitungan seperti tabel 3.3 diperoleh :
 - * Harga rata-rata $\quad\quad\quad = 2.448$
 - * Harga simpangan baku (S_i) $\quad\quad\quad = 0.289$
 - * Koefisien Skewness (C_s) $\quad\quad\quad = -0.377$
- Untuk peluang 80 %, dengan cara interpolasi dari tabel 3.5 diperoleh $G = -0.818$
- Harga-harga tersebut dimasukkan dalam persamaan 3-5 :

$$\begin{aligned}\text{Log } X &= 2.448 + (-0.818) \cdot (0.289) \\ &= 2.212\end{aligned}$$

$$X = 162.78 \text{ mm.}$$

Untuk dapat mengetahui, apakah data tersebut sesuai dengan jenis agihan teoritis yang dipilih (Log Pearson III), maka perlu diadakan uji kesesuaian. Cara melakukan tes tersebut sama seperti pada data debit dengan persamaan regresi untuk pengujian hujan ini adalah sebagai berikut :

$$Y = -0.123105 X + 91.736533$$

dan dapat dilihat pada tabel 3.12.

Dari tabel 3.12 tersebut didapat $\Delta \text{ max} = 20,75 \text{ \%} = 0,2075$ dan dari tabel 3.8, untuk $\alpha = 0.05$ dan $n = 15$ didapat $\Delta_{cr} = 0.34$.

Karena $\Delta \text{ max} < \Delta \text{ cr}$, maka dapat disimpulkan bahwa agihan Log Pearson tipe III dapat diterima guna perhitungan curah hujan efektif.

Tabel 3.12 Uji Smirnov - Kolmogorov Data Hujan

No.	Curah hujan (mm)	Probabilitas Empiris (%)	Probabilitas Teoritis (%)	Pe - Pt
1	863.0	6.25	-14.50	20.75
2	634.0	12.50	13.69	1.19
3	534.1	18.75	25.99	7.24
4	397.3	25.00	42.83	17.83
5	387.8	31.25	44.00	12.75
6	386.0	37.50	44.22	6.72
7	324.9	43.75	51.74	7.99
8	280.3	50.00	57.23	7.23
9	279.3	56.25	57.35	1.10
10	253.6	62.50	60.52	1.98
11	251.4	68.75	60.79	7.96
12	199.2	75.00	67.21	7.79
13	114.6	81.25	77.63	3.62
14	91.0	87.50	80.53	6.97
15	89.0	93.75	80.78	12.97

Untuk menentukan tahun dasar (*basic year*) perencanaan adalah sebagai berikut: dari tabel 3.11 dan perhitungan dengan menggunakan persamaan 3-5 didapat curah hujan dengan peluang 80 % sama dengan 162.78 mm (pada bulan Januari). Harga curah hujan yang terdapat pada tabel 3.9, yang besarnya mendekati harga 162.78 mm adalah 114.9 mm, yaitu pada tahun 1981. Sehingga tahun 1981 dipakai sebagai tahun dasar perencanaan untuk perhitungan curah hujan efektif bulan Januari. Dengan cara yang sama maka tahun dasar perencanaan untuk bulan-bulan yang lain dapat ditentukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.13.

Selanjutnya dengan data curah hujan pada bulan dan tahun tersebut pada tabel 3.13, dapat dicari besarnya curah hujan efektif dengan ketentuan sebagai berikut :

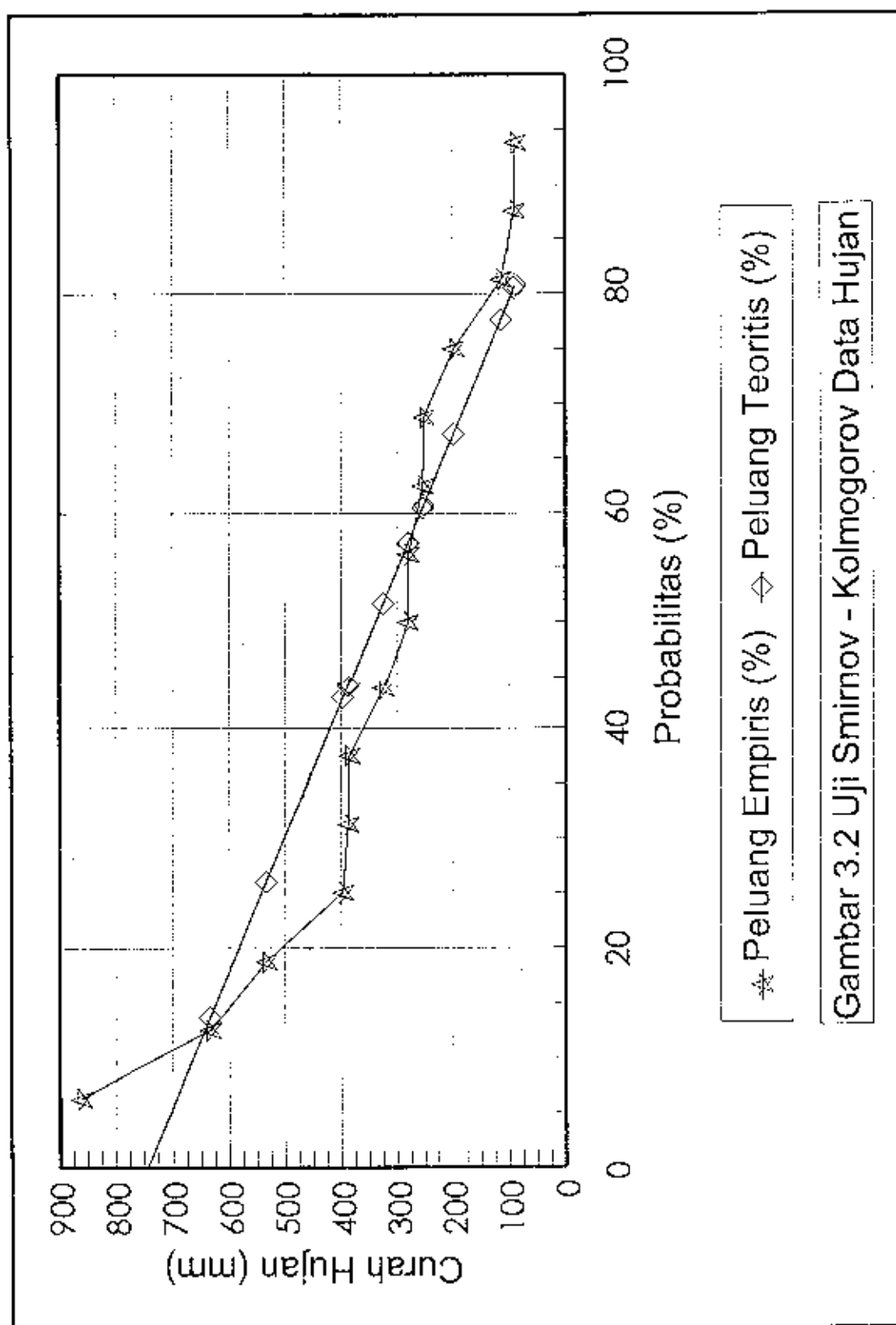
1. Curah hujan harian yang besarnya lebih kecil dari 5 mm, untuk sesuatu hari yang 2 hari sebelumnya dan 2 hari sesudahnya hari tersebut tidak terjadi hujan, tidak diperhitungkan sebagai curah hujan efektif.
2. Water storage capacity (kemampuan menyimpan air) dari tanah diperkirakan hanya 30 mm saja per hari, selain itu pula *natural extraction rate of soil moisture* adalah 6 mm per hari. Curah hujan harian antara 5 - 36 mm per hari diperhitungkan sebagai hujan efektif untuk tanaman, sedangkan curah hujan harian yang lebih besar dari 36 mm dianggap tidak efektif, misalnya bilamana dalam satu hari curah hujan sebesar 38 mm, maka yang dihitung sebagai curah hujan efektif adalah 36 mm saja.

3. Curah hujan yang berturut-turut, jumlahnya diperhitungkan sebagai curah hujan efektif. Kalau curah hujan harian diselingi oleh satu hari tidak ada hujan, dapat dianggap sebagai hujan harian berturut-turut, dan dapat diperhitungkan sebagai curah hujan efektif. Jumlah hujan dari hari yang berturut-turut, yang jumlahnya lebih kecil dari 30 mm diperhitungkan sebagai curah hujan efektif. Bilamana terjadi jumlah hujan tersebut, yaitu dari jumlah curah hujan harian yang berturut-turut melebihi $R_e = 30 + 6x$ (x = jumlah hari hujan yang berturut-turut) maka curah hujan yang diperhitungkan sebagai curah hujan efektif adalah $R_e = 30 + 6x$.
- Bilamana jumlah curah hujan dari hari yang berturut-turut tersebut lebih kecil dari harga $R_e = 30 + 6x$, maka curah hujan efektif yang diperhitungkan adalah jumlah hujan dari hari yang berturut-turut tersebut.

Hasil perhitungan curah hujan efektif dapat dilihat pada tabel 3.15.

3.4 Klimatologi

Data klimatologi yang meliputi suhu udara, kecepatan angin, kelembaban relatif dan lama penyinaran matahari yang berguna untuk menghitung besarnya evapotranspirasi. Dalam studi ini data klimatologi yang dianggap mewakili daerah Waduk Pacal diambil dari stasiun Klimatologi Bojonegoro. Periode pengamatannya diambil 5 tahun, mulai tahun 1979 sampai dengan tahun 1983.



Tabel 3.13 Tahun Dasar Perencanaan Dengan Cara R-80

No.	Bulan	Curah hujan dengan Cara Log Pearson Tipe III (mm)	Curah hujan tahun Dasar Perencanaan (mm)	Tahun
1	Jan	162.57	114.60	1981
2	Feb	146.82	136.10	1981
3	Mar	198.77	187.00	1974
4	Apr	113.31	92.80	1985
5	Mei	39.14	31.70	1986
6	Jun	29.30	6.70	1984
7	Jul	20.46	20.30	1982
8	Ags	23.97	10.10	1981
9	Sep	14.18	12.00	1976
10	Okt	54.31	33.70	1986
11	Nop	109.45	100.50	1974
12	Des	200.98	147.10	1981

Tabel 3.14.a Curah Hujan Harian Bulan Januari 1981

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-	-	-
2	6	1.5	2	3.5
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	3	8	16	13
9	19	16	18	11
10	3	7.5	11	9
11	5	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	18	16	16.5	17
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	11	7.5	5	3.5
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	18	16	16.5	17
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	11	7.5	5	3.5
30	13	11	14	16
31	-	-	-	-

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.b Curah Hujan Harian Bulan Februari 1981

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	9	16	14.5	16.5
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	13	6	4.5	5.5
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	66	52	58.5	53
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	44	35	29	31
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	36	43	40.5	41
26	-	-	-	-
27	10	4.5	3	4
28	-	-	-	-

Sumber : Cabang Dinas Pengaliran Bojonegoro

Tabel 3.14.c Curah Hujan Harian Bulan Maret 1974

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)
1	7
2	12
3	-
4	-
5	-
6	17
7	8.5
8	8
9	2
10	21
11	7
12	1
13	4
14	54
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	12.5
22	-
23	-
24	-
25	-
26	-
27	-
28	-
29	-
30	-
31	33

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.d Curah Hujan Harian Bulan April 1985

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-	-	-
2	7	4	5	6
3	20	-	-	-
4	-	7	4	3
5	60.9	-	29	24
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	2	-	-	-
12	36	28	19	17
13	6	3	2	2
14	6	3	2	1.6
15	3	-	-	-
16	-	9	9	11
17	11	-	2	3
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	2	2.3	4	2.6
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	5	1	2	3
26	5	5	5	4
27	1	7	5	6
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.e Curah Hujan Harian Bulan Mei 1986

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	45	43.5	7	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	12	-	-	-
10	27	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	14.5	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

Sumber : Cabang Dinas Pengaliran Bojonegoro

Tabel 3.14.f Curah Hujan Harian Bulan Juni 1984

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	3	-	-
11	-	-	10	-
12	8	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	8	-	-	-

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.g Curah Hujan Harian Bulan Juli 1982

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	22	20	-	19
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.h Curah Hujan Harian Bulan Agustus 1981

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	17	12	-	14
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.j Curah Hujan Harian Bulan Oktober 1986

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	2	3	3.5	5
9	-	-	-	-
10	13	11	7.5	6.5
11	4	-	-	-
12	-	-	-	-
13	6	-	-	-
14	2	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	21	5	2	3
26	13.5	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	3	15	16.5

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.i Curah Hujan Harian Bulan September 1976

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)
1	-
2	-
3	-
4	-
5	-
6	-
7	-
8	-
9	-
10	-
11	-
12	-
13	-
14	-
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	12
25	-
26	-
27	-
28	-
29	-
30	-

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.k Curah Hujan Harian Bulan Nopember 1974

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)
1	-
2	-
3	-
4	36
5	7
6	2
7	9
8	-
9	-
10	-
11	1
12	-
13	-
14	1
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	27
24	-
25	6
26	1
27	-
28	3
29	-
30	7.5

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.14.I Curah Hujan Harian Bulan Desember 1981

Tanggal	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)
1	-	-		-
2	6	-		-
3	-	-		-
4	-	-		-
5	-	-		-
6	6	-		-
7	1	-		-
8	10	16		12
9	2	10		6
10	24	26		22
11	-	-		-
12	-	-		-
13	-	-		-
14	-	-		-
15	78	69		53
16	4	19		11
17	4	12		8
18	-	-		-
19	-	-		-
20	-	-		-
21	2	-		-
22	14	21		19
23	15	18		17
24	-	-		-
25	-	-		-
26	5	-		-
27	16	8		6
28	-	-		-
29	23	21		19
30	5	9		10
31	3	6		12

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Bojonegoro

Tabel 3.15 Curah Hujan Efektif & Hujan Efektif Rata-rata

Bulan	Periode	Stasiun Tretes (mm)	Stasiun Sugihan (mm)	Stasiun Gondang (mm)	Stasiun Sukun (mm)	Rata-rata (mm)
Januari	I	31	33	47	36.5	36.88
	II	34	23.5	21.5	17	24.00
	III	42	34.5	35.5	36.5	37.13
Februari	I	9	16	14.5	16.5	14.00
	II	42	42	36	41.5	40.38
	III	48	48	48	48	48.00
Maret	I	72	-	-	-	72.00
	II	48	-	-	-	48.00
	III	42	-	-	-	42.00
April	I	54	11	38	33	34.00
	II	64	43	34	34.6	43.90
	III	11	13	12	13	12.25
Mei	I	48	36	7	0	22.75
	II	0	14.5	0	0	3.63
	III	0	0	0	0	0.00
Juni	I	0	0	0	0	0.00
	II	8	0	10	0	4.50
	III	8	0	0	0	2.00
Juli	I	0	0	0	0	0.00
	II	0	0	0	0	0.00
	III	22	20	0	19	15.25
Agustus	I	17	12	0	14	10.75
	II	0	0	0	0	0.00
	III	0	0	0	0	0.00
September	I	0	-	-	-	0.00
	II	0	-	-	-	0.00
	III	12	-	-	-	12.00
Oktober	I	15	14	11	11.5	12.88
	II	12	0	0	0	3.00
	III	34.5	8	15	16.5	18.50
Nopember	I	54	-	-	-	54.00
	II	0	-	-	-	0.00
	III	44.5	-	-	-	44.50
Desember	I	49	48	-	40	45.67
	II	44	48	-	48	45.67
	III	78	66	-	66	70.00

Sumber : Hasil Perhitungan

Besarnya suhu udara rerata bulanan berdasarkan pengamatan berkisar antara 26,70°C yang terjadi pada bulan Januari dan 28,50°C terjadi pada bulan Maret.

Kelembaban relatif bulanan pada daerah studi selama pengamatan berkisar antara 63,25 % sampai dengan 74,88 %.

Kecepatan angin rerata bulanan bervariasi dari 1,21 m/dt hingga 1,70 m/dt. Pada akhir musim kering biasanya terjadi angin dengan kecepatan relatif tinggi. Pada tabel 3.16 sampai dengan tabel 3.19 disajikan data klimatologi seperti yang diuraikan di atas.

3.5 Perhitungan Evapotranspirasi

Evaporasi adalah peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah atau permukaan air ke udara. Sedangkan transpirasi adalah penguapan dari tanaman. Jika kedua-duanya terjadi bersama-sama disebut evapotranspirasi.

Ada dua jenis evapotranspirasi, yaitu : (Linsley, Kohler, Paulhus, 1984: 51)

1. Evapotranspirasi potensial (E_p) ialah evapotranspirasi yang terjadi dalam keadaan air yang tersedia cukup, baik secara alam (hujan) maupun buatan (irigasi) untuk pertumbuhan tanaman.
2. Evapotranspirasi yang sebenarnya, ialah evapotranspirasi yang terjadi dalam keadaan air yang tersedia semata-mata menurut keadaan alam saja.

Tabel 3.16 Data Temperatur (C)

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1979	24.00	24.10	24.00	24.00	24.40	22.90	22.00	23.90	22.80	22.20	23.20	22.80
	32.00	32.60	32.30	32.60	32.60	32.70	32.30	32.40	34.60	34.00	34.90	32.90
1980	23.10	23.00	22.70	23.10	22.70	21.98	22.70	21.85	22.20	22.50	23.28	23.00
	32.10	32.10	32.80	32.60	32.80	32.90	33.40	32.98	34.70	33.98	35.23	33.50
1981	22.60	23.50	23.20	23.40	22.70	22.50	22.40	22.40	20.90	22.70	22.70	22.50
	31.30	33.00	33.50	33.60	32.70	32.50	32.50	31.60	31.55	31.20	32.70	32.70
1982	22.69	23.07	23.24	22.95	22.68	22.29	19.93	20.87	19.03	20.06	21.60	22.70
	32.65	31.36	33.72	32.33	32.88	32.78	31.76	33.18	33.40	34.93	35.80	33.80
1983	19.39	22.62	23.58	22.41	21.76	20.13	19.07	18.98	19.60	21.06	21.61	23.70
	27.21	31.37	32.45	31.60	30.47	30.93	31.32	32.09	33.37	33.40	31.06	32.70
Rata^2	26.70	27.67	28.15	27.86	27.57	27.16	26.74	27.03	27.22	27.60	28.21	28.03

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Daerah Bojonegoro

Tabel 3.17 Data Kelembaban Relatif (%)

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1979	71.00	74.00	71.70	68.10	67.00	64.90	59.60	59.50	58.90	59.10	66.03	71.60
	79.00	80.50	77.30	73.50	72.60	69.00	66.30	66.80	66.40	69.40	77.20	80.30
1980	54.30	53.30	47.70	68.60	66.50	63.10	66.03	65.10	58.90	61.60	65.03	66.50
	81.80	82.40	82.30	77.03	71.80	70.80	71.84	72.40	68.80	70.20	76.73	74.50
1981	60.00	64.40	56.30	68.60	64.00	60.80	62.70	63.40	55.50	60.50	58.90	61.60
	81.50	82.40	81.90	80.00	76.80	71.30	72.70	74.00	77.50	70.03	96.10	97.00
1982	71.96	71.37	64.67	62.17	42.10	41.37	44.58	37.73	34.18	29.20	31.90	55.07
	96.61	96.91	97.16	94.07	92.70	92.75	90.05	86.65	87.73	88.31	88.28	87.95
1983	57.21	49.40	51.41	50.80	51.41	41.78	34.57	33.12	31.56	35.13	37.53	42.67
	91.87	94.14	90.62	90.41	91.41	89.98	87.71	85.87	82.72	89.06	79.46	87.25
Rata^2	74.53	74.88	72.11	73.33	69.63	66.58	65.61	64.46	62.22	63.25	67.72	72.44

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Daerah Bojonegoro

Tabel 3.18 Data Lama Penyinaran Matahari (%)

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1979	34.40	39.20	44.00	61.60	41.60	56.80	65.60	60.00	55.20	56.40	64.80	45.60
1980	40.00	45.00	45.00	59.00	76.00	91.00	84.00	86.00	89.00	49.60	72.00	49.00
1981	41.00	51.00	60.00	-	78.00	74.00	62.00	88.00	73.00	81.00	50.00	43.00
1982	36.00	44.00	46.00	54.00	64.00	67.00	67.00	66.00	69.00	73.00	64.00	45.00
1983	33.60	59.20	44.00	56.80	50.40	49.60	56.80	56.80	44.00	59.20	49.60	38.40
Rata^2	37.00	47.68	47.80	46.28	62.00	67.68	67.08	71.36	66.04	65.84	60.08	44.40

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Daerah Bojonegoro

Tabel 3.19 Data Kecepatan Angin (m/dt)

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1979	1.08	1.05	1.65	0.50	0.60	0.28	0.65	1.26	1.03	1.16	0.43	0.60
	2.47	1.82	2.19	1.95	1.66	1.75	2.39	2.21	2.38	2.65	1.88	2.34
1980	1.15	0.79	0.77	0.55	0.85	0.35	0.77	0.77	0.50	0.82	0.62	0.82
	2.11	2.36	1.65	1.67	2.20	2.22	2.05	1.77	1.98	2.08	1.85	1.69
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	1.70	2.02	1.96	1.48	1.46	1.46	1.89	2.17	1.93	1.65	1.62	1.49
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rata^2	1.70	1.61	1.64	1.23	1.35	1.21	1.55	1.64	1.56	1.67	1.28	1.39

Sumber : Cabang Dinas Pengairan Daerah Bojonegoro

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya evapotranspirasi adalah suhu, kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, penyinaran matahari dan lain-lain yang saling berhubungan satu dengan yang lain (Sosrodarsono, 1980:57).

Mengingat evapotranspirasi adalah merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi, maka perkiraan besarnya evapotranspirasi selalu disertai anggapan bahwa air yang tersedia cukup. Sehingga besaran evapotranspirasi yang didapat merupakan evapotransporasi potensial.

Besarnya evaporasi dapat diperkirakan dengan pengukuran langsung di lapangan yaitu dengan memakai panci evaporasi, sedangkan evapotranspirasi dengan Lysimeter. Disamping itu dapat juga dipakai perhitungan dengan rumus pendekatan. Dalam hal ini diperlukan data-data klimatologi untuk mendapatkan besarnya evapotranspirasi tersebut.

Rumus-rumus pendekatan tersebut diantaranya yaitu :

- a. Blaney - Criddle .
- b. Thornwhite
- c. Penman

Untuk memperkirakan besarnya evapotranspirasi potensial, dalam studi ini dipakai cara modifikasi Penman. Pemilihan cara tersebut didasarkan atas pertimbangan bahwa cara Penman memperhitungkan faktor-faktor klimatologi secara lengkap,

misalnya suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan lamanya penyinaran matahari.

Perhitungan evapotranspirasi potensial dengan cara Penman ini menggunakan persamaan sebagai berikut : (Suhardjono, 1989:46)

$$E_{To} = c \cdot ET_o^*$$

adapun :

E_{To} = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

ET_o^* = $W (0.75 R_s - R_{n_i}) + (1 - W) \cdot f(U) \cdot (e_a - e_d)$

W = faktor yang berhubungan dengan suhu (t) dan elevasi daerah. Untuk Indonesia, dengan elevasi antara 0 sampai dengan ± 500 m, hubungan harga t dan W disajikan pada tabel 3.21

R_s = radiasi gelombang pendek dalam satuan evaporasi ekuivalen (mm/hari)

= $(0.25 + 0.54 n/N) \cdot R_a$

R_a = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (angka Angot) yang besarnya berhubungan dengan letak lintang daerah (mm/hari)

R_{n_i} = radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)

= $f(t) \cdot f(cd) \cdot f(n/N)$

$f(t)$ = fungsi suhu = σT_a^4

$f(ed)$ = fungsi tekanan uap = $(0.34 - 0.44 \sqrt{cd})$

- $f(n/N)$ = fungsi kecerahan = $0.1 + 0.9 n/N$
 $f(U)$ = fungsi kecepatan angin = $0.27(1+0.864 U)$
 t = suhu bulanan rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)
 e_a = tekanan uap jenuh yang besarnya berhubungan dengan suhu.
 e_d = tekanan udara $RH \times e_a$
 RH = kelembaban relatif bulanan rata-rata (%)
 U = kecepatan angin bulanan rata-rata (m/dt)
 n/N = kecerahan matahari bulanan (%)
 c = angka koreksi bulanan untuk rumus Penman (berdasarkan kecepatan angin siang/malam di daerah Indonesia)

Sebagai contoh perhitungan besarnya evapotranspirasi potensial untuk bulan Januari adalah sebagai berikut :

1. Suhu rata-rata (t) = 26.70°C (tabel 3.16)
2. Kelembaban relatif (RH) = 74.53 m bar (tabel 3.17)
3. Lama penyinaran matahari (n/N) = 37% (tabel 3.18)
4. Kecepatan angin (U) = 1.70 m/dt (tabel 3.19)
5. Tekanan uap jenuh (e_a) = 35.04 m bar (tabel 3.21)
6. Tekanan uap nyata (e_d) = $35.04 \times 0.7453 = 26.12 \text{ m bar}$
7. Perbedaan tekanan uap ($e_a - e_d$) = 8.92 m bar
8. Faktor W = 0.762 (tabel 3.21)

9. $(1-W)$ = 0.238
10. $f(t) = \sigma T_a^4$ = 16.04 mm H₂O/hari (tabel 3.21)
11. $f(ed)$ = $(0.34 - 0.44 \sqrt{26.12}) = 0.12$ m bar
12. Nilai angot (R_a) = 15.98 mm/hari (tabel 3.22) dengan letak lintang 7.2° LS.
13. Radiasi gelombang pendek (R_s) = 7.19 mm/hari
14. $f(n/N)$ = $0.1 + 0.9 n/N = 0.433$
15. Fungsi angin $f(U)$ = $0.27(1+0.864 U) = 0.667$
16. $Rn_1 = f(t), f(ed), f(n/N)$ = 0.800 mm/hari
17. Angka koreksi (c) = 1.10
18. $ET_o^* = W(0.75 R_s - Rn_1) + (1-W) \cdot f(U) \cdot (ca-ed)$
= 4.916 mm/hari
19. Evapotranspirasi potensial (ET_o) = $c \cdot ET_o^*$
= $1,10 \cdot 4.916$
= 5.407 mm/hari.

Dengan cara yang sama, harga evapotranspirasi potensial untuk bulan-bulan yang lain disajikan dalam tabel 3.20.

Tabel 3.20 Perhitungan Evapotranspirasi berdasarkan Metode Penman

No.	Data	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Ok	Nop	Des
1	Temperatur udara (t_a)	($^{\circ}\text{C}$)	26.10	27.67	28.15	27.86	27.57	27.16	26.74	27.03	27.22	27.60	28.21	28.03
2	Kelambatan relatif (RH)	(%)	74.53	74.88	72.11	73.33	69.63	66.58	65.61	64.46	62.22	63.25	67.72	72.44
3	Lama penyinaran (n)	(%)	37.00	47.68	47.80	46.28	62.00	67.68	67.08	71.36	66.04	65.84	60.08	44.40
4	Kecepatan Angin (U)	(m/dt)	1.70	1.61	1.64	1.23	1.35	1.21	1.55	1.64	1.56	1.67	1.28	1.39

5	Tekanan uap jenuh (e_s)	(m bar)	35.04	37.09	38.25	37.59	36.94	36.09	35.04	35.66	36.09	39.94	38.03	37.81
6	Tekanan uap nyata (e_d)	(m bar)	26.11	27.77	27.58	27.56	25.72	24.03	22.99	22.99	22.45	25.26	25.75	27.39
7	Perbedaan tekanan uap ($e_s - e_d$)	(m bar)	8.93	9.32	10.67	10.03	11.22	12.06	12.05	12.67	13.64	14.68	12.28	10.42
8	Faktor pembobot (W)		0.762	0.772	0.777	0.774	0.771	0.767	0.762	0.755	0.767	0.771	0.776	0.775
9	$(1 - W)$		0.238	0.228	0.223	0.226	0.229	0.233	0.238	0.235	0.233	0.229	0.224	0.225
10	Radiasi benda hitam ($f(t) = T_a^4$)	(mm/hari)	16.04	16.24	16.34	16.28	16.22	16.14	16.04	16.1	16.14	16.22	16.32	16.3
11	$f(e_d) = (0.34 - 0.44 \text{ Ved})$	(m bar)	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
12	Radiasi extra terestrial (R_a)	(mm/hari)	15.98	16.06	15.54	14.52	13.22	12.56	12.86	13.82	14.94	15.76	15.97	15.88
13	Radiasi gelombang pendek (R_s)	(mm/hari)	7.19	8.15	7.90	7.26	7.73	7.73	7.87	8.78	9.06	9.54	9.14	7.78
14	$f(n/N) = 0.1 + 0.9 n/N$		0.433	0.529	0.530	0.517	0.658	0.709	0.704	0.742	0.694	0.693	0.641	0.500
15	Fungsi angin ($f(U)$)		0.667	0.645	0.654	0.557	0.586	0.553	0.632	0.652	0.635	0.660	0.569	0.594
16	$Rn1 = f(t) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N)$	(mm/hari)	0.800	0.929	0.944	0.917	1.247	1.423	1.456	1.542	1.474	1.335	1.220	0.893
17	Angka koreksi (c)	-	1.10	1.10	1.10	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10
18	ETo^*	(mm/hari)	4.916	5.372	5.423	4.766	5.014	4.909	5.201	5.799	6.100	6.707	5.939	5.220
19	$ETo = c \cdot ETo^*$	(mm/hari)	5.407	5.909	5.965	4.290	4.513	4.418	4.681	5.799	6.710	7.378	6.533	5.742

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

- (1) = dari tabel 3.16
 (2) = dari tabel 3.17
 (3) = dari tabel 3.18
 (4) = dari tabel 3.19
 (5) = dari tabel 3.21
 (6) = dari tabel 3.21
 (7) = (5)-(6)
 (8) = dari tabel 3.21
 (9) = dari tabel 3.21
 (10) = dari tabel 3.21
 (11) = $(0.34 - 0.44 \text{ V}(6))$
 (12) = dari tabel 3.22
 (13) = $(0.25 + .54 \cdot (3)) \cdot (12)$
 (14) = $(0.1 + 0.9 \cdot (3))$
 (15) = $0.27 (1 + 0.864 \cdot (4))$
 (16) = $(10) \cdot (11) \cdot (14)$
 (17) = $W \cdot (0.75 \cdot R_s - Rn1) + (1 - W) \cdot f(t) \cdot (e_s - e_d)$
 (18) = $(17) \cdot (18)$

Tabel 3.21
Hubungan Suhu (t) dengan ea (m bar), W, (1-W) dan f(t)

Suhu C	ea	W	(1-W)	f (t)
	m bar	elv. 0 - 250 m		
24.0	29.85	0.735	0.265	15.40
24.2	30.21	0.737	0.263	15.45
24.4	30.57	0.739	0.261	15.50
24.6	30.94	0.741	0.259	15.55
24.8	31.31	0.743	0.257	15.60
25.0	31.69	0.745	0.255	15.65
25.2	32.06	0.747	0.253	15.70
25.4	32.45	0.749	0.251	15.75
25.6	32.83	0.751	0.249	15.80
25.8	33.22	0.753	0.247	15.85
26.0	33.62	0.755	0.245	15.90
26.2	34.02	0.757	0.243	15.94
26.4	34.42	0.759	0.241	15.98
26.6	34.83	0.761	0.239	16.02
26.8	35.25	0.763	0.237	16.06
27.0	35.66	0.765	0.235	16.10
27.2	36.09	0.767	0.233	16.14
27.4	36.50	0.769	0.231	16.18
27.6	36.94	0.771	0.229	16.22
27.8	37.37	0.773	0.227	16.26
28.0	37.81	0.775	0.225	16.30
28.2	38.25	0.777	0.223	16.34
28.4	38.70	0.779	0.221	16.38
28.6	39.14	0.781	0.219	16.42
28.8	39.61	0.783	0.217	16.46
29.0	40.06	0.785	0.215	16.50
Min	31.69	0.745	0.215	15.65
Maks	40.06	0.785	0.255	16.50
Rerata	35.74	0.765	0.235	16.09

Sumber : Suhardjono

Tabel 3.22 Besaran Angka ANGOT (Ra) dalam mm/hari

Bulan	Lintang Utara				Lintang Selatan				
	5	4	2	0	2	4	6	8	10
Januari	13.0	14.3	14.7	15.0	15.3	15.5	15.8	16.1	16.1
Februari	14.0	15.0	15.3	15.5	15.7	15.8	16.0	16.1	16.0
Maret	15.0	15.5	15.6	15.7	15.7	15.6	15.6	15.5	15.3
April	15.1	15.5	15.3	15.3	15.1	14.9	14.7	14.4	14.0
Mei	15.3	14.9	14.6	14.4	14.1	13.8	13.4	13.1	12.6
Juni	15.0	14.4	14.2	13.9	13.5	13.2	12.8	12.4	12.6
Juli	15.1	14.6	14.3	14.1	13.7	13.4	13.1	12.7	11.8
Agustus	15.3	15.1	14.9	14.8	14.5	14.3	14.0	13.7	12.2
September	15.1	15.3	15.3	15.3	15.2	15.1	15.0	14.9	13.3
Oktober	15.7	15.1	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	14.6
Nopember	14.8	14.5	14.8	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0	15.6
Desember	14.6	14.1	14.4	14.8	15.1	15.4	15.7	16.0	16.0
Minimum	13.0	14.1	14.2	13.9	13.5	13.2	12.8	12.4	11.8
Maksimum	15.7	15.5	15.6	15.7	15.7	15.8	16.0	16.1	16.1
Rata-rata	14.8	14.9	14.9	14.9	14.9	14.8	14.8	14.7	14.2

Sumber : Suhardjono

BAB IV

ANALISA KEBUTUHAN AIR IRIGASI

Dalam bab ini akan dibahas mengenai tinjauan umum tentang kebutuhan air irigasi, faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air irigasi yang meliputi jenis tanaman, luas daerah pengaliran, pengolahan tanah, persemaian, perkolasi, koefisien tanaman, efisiensi irigasi, pola tanam dan perhitungan kebutuhan air dari masing-masing jenis tanaman pada saat periode tanam padi gadu.

4.1 Tinjauan Umum

Pembuatan jaringan irigasi sebagai sarana penyediaan air untuk pertanian merupakan salah satu pemanfaatan sumber daya air. Adanya jaringan irigasi hanya memberikan air bagi tanaman dimusim kemarau, tetapi juga mengatur pemberian air bagi tanaman dimusim hujan. Dengan pengelolaan air irigasi yang baik, dalam arti memberikan sejumlah air yang tepat pada waktunya dan sesuai dengan tingkat kebutuhan tanaman, maka akan diperoleh hasil panen yang baik.

Perhitungan kebutuhan air irigasi untuk tanaman dihitung dengan prinsip keseimbangan air sebagai berikut (Anonymous, 1980 : II - 25) :

$$W_r = C_u + P + N + L_p - R_e$$

adapun :

W_r = kebutuhan air di sawah (mm/hari)

C_u = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari)

P = kehilangan air karena perkolasi

N = kebutuhan air untuk persemaian (mm/hari)

Lp = kebutuhan air untuk pengolahan tanah (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

Kebutuhan air di pintu pengambilan menggunakan persamaan sebagai berikut

(Anonymous, 1980 : II - 23):

$$D_r = \frac{W_r \cdot A \cdot (10^4 / 86400)}{EI}$$

adapun :

D_r = kebutuhan air irigasi di pintu pengambilan (lt/dt)

W_r = kebutuhan air irigasi di sawah (mm/hari)

EI = efisiensi irigasi keseluruhan (%)

A = luas sawah yang diairi (Ha)

4.2 Faktor yang berpengaruh terhadap Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang antara lain

adalah :

- Jenis tanaman
- Luas daerah pengaliran
- Cara pengolahan tanah
- Persemaian
- Perkolasi

- Koefisien tanaman
- Pola tanam
- Efisiensi irigasi
- Evapotranspirasi
- Curah hujan efektif

4.2.1 Jenis Tanaman

Setiap jenis tanaman selama pertumbuhannya terus menerus membutuhkan air, tetapi banyaknya air yang dibutuhkan tidak selalu sama. Misalnya tanaman padi semasa pertumbuhannya memerlukan penggenangan air yang cukup, sedangkan tanaman palawija hanya memerlukan air sekedar untuk mempertahankan kelembaban tanah.

Pertumbuhan tanaman dapat dipisahkan dalam tiga tahap, yaitu :

- Pertumbuhan vegetatif
- Masa pembungaan
- Masa penguatan

Mulai tanaman berkecambah dan masa pertumbuhan vegetatif kebutuhan air selalu bertambah, sedangkan pada masa pembungaan yang relatif pendek kebutuhan airnya sangat tinggi, kemudian kebutuhan air akan berangsur-angsur berkurang pada masa penguatan yaitu mulai pembentukan buah sampai buah masak.

Pada musim hujan sebagian daerah irigasi Pacal digunakan untuk tanaman padi. Karena keterbatasan air pada musim kemarau, maka luas tanaman padi akan terbatas sesuai dengan banyaknya air yang tersedia. Oleh sebab itu dimusim kemarau daerah irigasi ini sebagian besar tanahnya ditanami palawija yang hanya memerlukan air lebih sedikit. Palawija yang biasa digunakan adalah jenis tanaman kedelai, jagung dan kacang tanah.

4.2.2 Luas Daerah Pengaliran

Luas areal tanam di daerah pengaliran yang beririgasi baik bagi tanaman padi maupun tanaman palawija akan mempengaruhi besarnya kebutuhan air. Luas total daerah pengaliran Waduk Pacal adalah 17.342 Ha, yang terdiri dari daerah bebas banjir seluas 15.521 Ha dan daerah banjir seluas 1.821 Ha. Areal yang menjadi obyek studi ini adalah daerah bebas banjir.

4.2.3 Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah merupakan langkah pertama dalam mempersiapkan tanah bagi penanaman. Pekerjaan ini dilakukan 20 hari sampai 30 hari sebelum tanam. Minggu pertama sebelum kegiatan dimulai, petakan sawah diberi air secukupnya untuk melunakkan tanah sawah. Untuk mengolah tanah dilakukan dengan cara membajak atau mencangkul dan menggaru. Kebutuhan air untuk pengolahan tanah kira-kira sebesar 6 mm/hari.

4.2.4 Persemaian

Kebutuhan air untuk persemaian biasanya diberikan bersama-sama dengan pemberian air untuk pengolahan tanah. Waktu yang diperlukan saat persemaian hingga masa pemindahan bibit ke sawah berkisar antara 20 - 25 hari. Luas areal sawah yang digunakan untuk persemaian berkisar antara 1/10 hingga 1/20 dari areal sawah yang akan ditanami padi. Kebutuhan air selama persemaian kira-kira 10 mm/hari.

4.2.5 Perkolasi

Perkolasi atau peresapan air ke dalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain adalah tekstur tanah, permeabilitas tanah, tebal lapisan tanah bagian atas (top soil), letak permukaan air tanah. Besarnya perkolasi pada Daerah Irigasi Pacal berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh Dinas Pengairan Kabupaten Bojonegoro adalah sebesar 1.25 mm/hari.

4.2.6 Koefisien Tanaman

Besarnya koefisien tanaman tergantung dari jenis dan umur tanaman tersebut. Koefisien tanaman ini merupakan faktor untuk mencari besarnya air yang habis terpakai oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Dalam studi ini besarnya koefisien tanaman diambil dari hasil penelitian Prosida Jawa Timur. Besarnya koefisien tanaman padi, jagung, kedelai dan kacang-kacangan mulai pertumbuhan 0 % sampai dengan

100 % dapat dilihat pada *gambar 4-1* dan *gambar 4-2*. Umur padi pada areal studi ini adalah 100 hari dan umur palawija 90 hari.

4.2.7 Pola Tata Tanam

Dengan keterbatasan persediaan air, maka pengaturan pola tanam dan jadwal tanam perlu dilaksanakan untuk dapat mengurangi banyaknya air yang diperlukan atau efisiensi pemakaian air irigasi dapat ditingkatkan. Pola tata tanam adalah suatu sistem dalam menentukan jenis-jenis tanaman atau pergiliran tanaman pada suatu daerah tertentu yang disesuaikan dengan persediaan air yang ada dan dilaksanakan sesuai dengan jadwal penanaman yang ditetapkan dalam musim hujan dan kemarau.

Alternatif pola tanam disusun dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Dengan membagi areal irigasi dalam beberapa golongan berdasarkan pertimbangan suplesi air dan tenaga kerja yang tersedia.
2. Jenis padi yang dipakai dan lamanya pengolahan tanah.

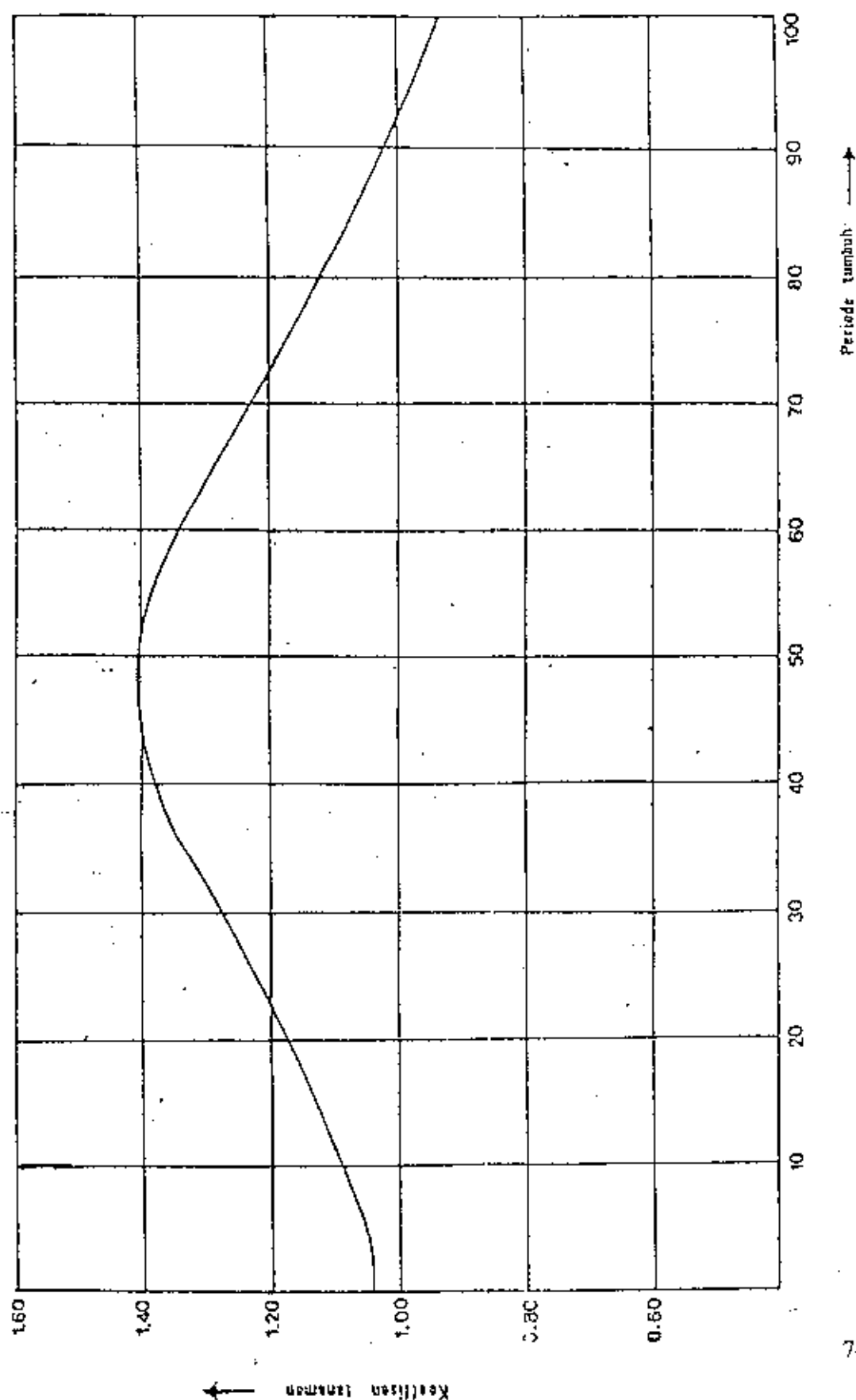
Pola tata tanam yang dilaksanakan padi dactrah studi adalah : **Padi rendeng - Padi gadu - Palawija.**

4.2.8 Efisiensi Irigasi

Efisiensi irigasi adalah perbandingan antara jumlah air yang digunakan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan yang dinyatakan dalam persen (%). Supaya air yang sampai pada tanaman tepat

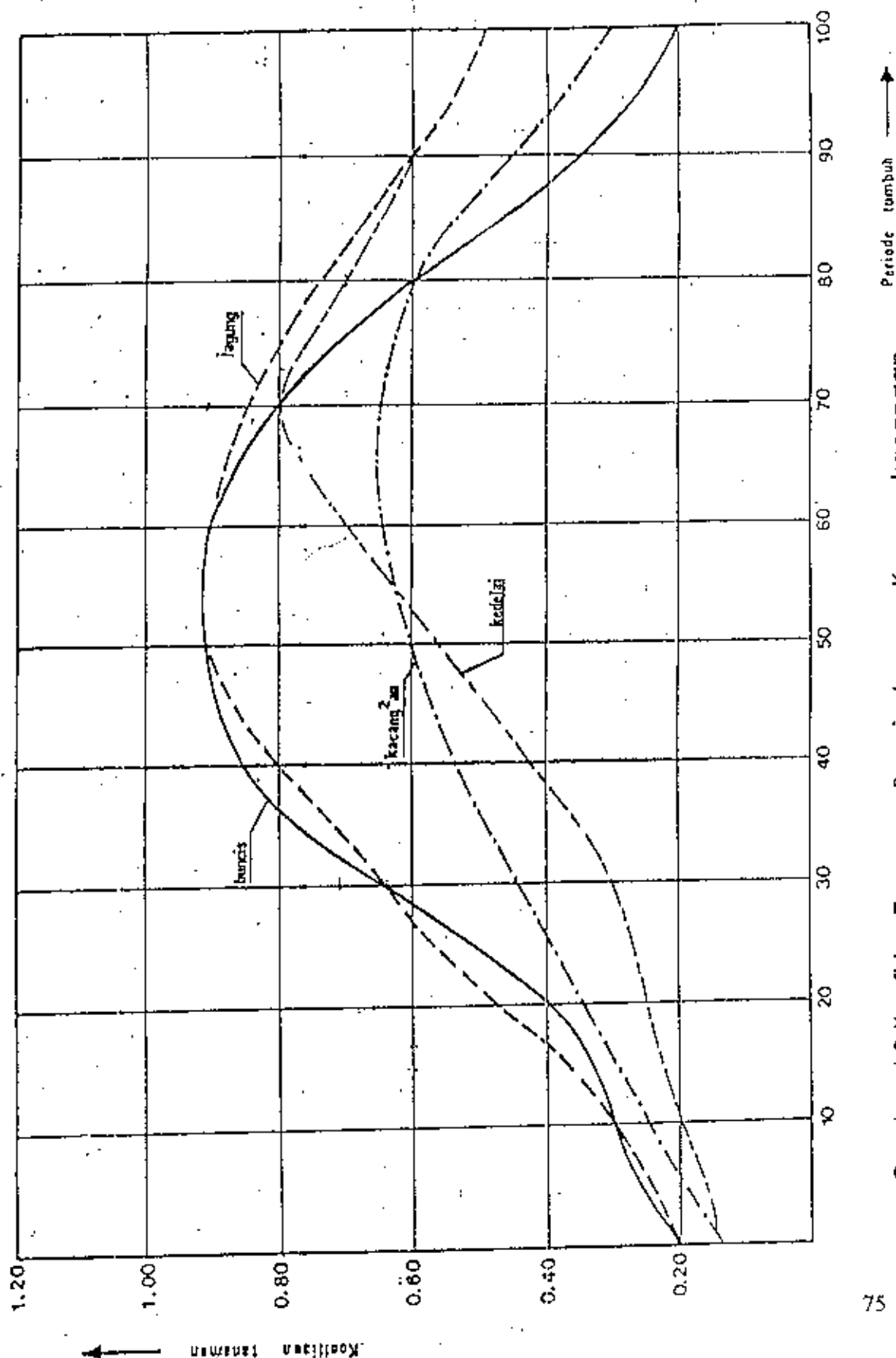
KOEFISIEN TANAMAN PADI

NEDESco - PROSIDA STUDY



Gambar 4.1 Koefisien Tanaman Padi

KOEFISIEN TANAMAN; buncis, jagung, kacang² an kedelai



Gambar 4.2 Koefisien Tanaman Buncis, Jagung, Kacang-kacangan dan Kedelai

jumlahnya, maka air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan harus lebih besar dari kebutuhan. Untuk itu diperlukan faktor efisiensi irigasi.

Besarnya efisiensi irigasi dipengaruhi oleh jumlah air yang hilang selama diperjalanan. Kehilangan yang dimaksud yaitu :

1. Kehilangan di tingkat tersier

Meliputi kehilangan air di sawah, di saluran kuarter dan di saluran tersier serta di bangunan-bangunannya.

2. Kehilangan air di tingkat sekunder

Meliputi kehilangan air di saluran sekunder dan bangunan-bangunannya.

3. Kehilangan di tingkat primer

Meliputi kehilangan air di saluran primer dan bangunan-bangunannya.

Pada daerah irigasi Pacal besarnya kehilangan air di tingkat saluran adalah sebagai berikut :

1. Kehilangan di tingkat primer : 10 %
2. Kehilangan di tingkat sekunder : 10 %
3. Kehilangan di tingkat tersier : 5 %

Berdasarkan besarnya kehilangan air tersebut, maka besarnya efisiensi di masing-masing tingkat saluran dapat ditentukan sebagai berikut :

1. Efisiensi di tingkat Primer = $100 \% - 10 \% = 90 \%$
2. Efisiensi di tingkat Sekunder = $100 \% - 10 \% = 90 \%$
3. Efisiensi di tingkat Tersier = $100 \% - 5 \% = 95 \%$



Sehingga besarnya efisiensi irigasi total (EI) = 90 % x 90 % x 95 % = 77 %

4.3 Kebutuhan Air di Pintu Pengambilan

Kebutuhan air pada pintu pengambilan adalah jumlah kebutuhan air di sawah dibagi dengan efisiensi irigasi :

$$Dr = \frac{Wr}{EI}$$

adapun :

Dr = kebutuhan air di pintu pengambilan (lt/dt/ha)

Wr = Kebutuhan air di sawah (lt/dt/ha)

EI = efisiensi irigasi (%)

Hasil perhitungan kebutuhan air untuk tanaman dapat dilihat pada tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.4.

Tabel 4.1 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman PADI GADU

No.	Bulan Periode	Maret			April			Mei			Juni			Juli		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
PADI GADU																
Pola Tata Tanam																
1	Koefisien Tanaman	1.08	1.18	1.27	1.37	1.40	1.35	1.25	1.12	1.02	0.94					
			1.08	1.18	1.27	1.37	1.40	1.35	1.25	1.12	1.02	0.94				
				1.08	1.18	1.27	1.37	1.40	1.35	1.25	1.12	1.02	0.94			
2	Rata-rata Koef. Tanaman	1.08	1.13	1.18	1.23	1.31	1.35	1.34	1.28	1.19	1.08	0.98	0.94			
3	Evapotranspirasi Potensial (mm)	59.65	59.65	65.62	42.90	42.90	42.90	45.13	45.13	49.64	44.18	44.18	44.18	46.81		
4	Air untuk tanaman (mm)	64.43	67.41	77.21	52.55	55.98	57.80	60.58	57.76	58.82	47.83	45.36	43.30	44.00		
5	Perkolasi	12.50	12.50	13.75	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	13.75	12.50	12.50	12.50	12.50		
6	Rasio luas tanaman	0.17	0.50	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.50	0.17		
7	Kebutuhan air tanaman (mm)	12.82	39.96	75.80	65.05	68.48	70.30	73.08	70.26	72.57	60.33	48.22	27.90	9.42		
8	Pembibitan (mm)	100	100	100												
9	Rasio luas pembibitan	0.042	0.025	0.008												
10	Air untuk pembibitan (mm)	4.17	2.50	0.83												
11	Pengolahan tanah (mm)	60	60	60												
12	Rasio luas pengolahan	0.792	0.475	0.158												
13	Air untuk pengolahan (mm)	47.50	28.50	9.50												
14	Kebutuhan air total (mm)	64.49	70.96	86.14	65.05	68.48	70.30	73.08	70.26	72.57	60.33	48.22	27.90	9.42		
15	Rasio luas total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
16	Hujan efektif (mm)	72	48	42	34	43.9	12.25	22.75	3.625	0	0	4.5	2	0		
17	Kebutuhan air neto (mm)	0.00	22.96	44.14	31.05	24.58	58.05	50.33	66.64	72.57	60.33	43.72	25.90	9.42		
18	Kebutuhan air neto (lt/dt/ha)	0.00	0.27	0.51	0.36	0.28	0.67	0.58	0.77	0.84	0.70	0.51	0.30	0.11		
19	Efisiensi irigasi (%)	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0		
20	Kebutuhan air di Intake (lt/dt/ha)	0.00	0.35	0.66	0.47	0.37	0.87	0.76	1.00	1.09	0.91	0.66	0.39	0.14		

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.2 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman J A G U N G

No.	Bulan	Mei			Juni			Juli			Agustus		
	Periode	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Pola Tata Tanam	J A G U N G											
1	Koefisien Tanaman	0.21	0.25	0.35	0.49	0.63	0.77	0.72	0.61	0.50			
			0.21	0.26	0.35	0.49	0.63	0.77	0.72	0.61	0.50		
				0.21	0.26	0.35	0.49	0.63	0.77	0.72	0.61	0.50	
					0.21	0.26	0.35	0.49	0.63	0.77	0.72	0.61	0.50
2	Rata-rata Koef. Tanaman	0.21	0.24	0.27	0.33	0.43	0.45	0.54	0.68	0.65	0.61	0.56	0.50
3	Evapotranspirasi Potensial (mm)	45.13	45.13	49.64	44.18	44.18	44.18	46.81	46.81	51.49	57.99	57.99	63.79
4	Air untuk tanaman (mm)	9.48	10.60	13.57	14.47	19.11	19.79	25.23	31.95	33.47	35.37	32.18	31.89
5	Hujan efektif (mm)	22.75	3.63	0.00	0.00	4.50	2.00	0.00	0.00	15.25	10.75	0.00	0.00
6	Rasio luas tanaman	0.17	0.50	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.50
7	Kebutuhan air neto (mm)	5.68	8.79	13.57	14.47	14.61	17.79	25.23	31.95	18.22	24.62	32.18	31.89
8	Kebutuhan air neto (lt/dt/ha)	0.07	0.10	0.16	0.17	0.17	0.21	0.29	0.37	0.21	0.28	0.37	0.37
9	Efisiensi irigasi (%)	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
10	Kebutuhan air di Intake (lt/dt/ha)	0.09	0.13	0.20	0.22	0.22	0.27	0.38	0.48	0.27	0.37	0.48	0.48

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.3 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman K E D E L A I

No.	Bulan	Mei			Juni			Juli			Agustus		
	Periode	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Pola Tata Tanam	KEDELA I											
1	Koefisien Tanaman	0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40			
			0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40		
				0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40	
					0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40
2	Rata-rata Koef. Tanaman	0.35	0.40	0.45	0.53	0.63	0.68	0.66	0.59	0.50	0.45	0.43	0.40
3	Evapotranspirasi Potensial (mm)	45.13	45.13	49.64	44.18	44.18	44.18	46.81	46.81	51.49	57.99	57.99	63.79
4	Air untuk tanaman (mm)	15.79	18.05	22.34	23.19	27.61	29.82	31.01	27.50	25.75	26.10	24.65	25.52
5	Hujan efektif (mm)	22.75	3.63	0.00	0.00	4.50	2.00	0.00	0.00	15.25	10.75	0.00	0.00
6	Rasio luas tanaman	0.17	0.50	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.50
7	Kebutuhan air neto (mm)	12.00	16.24	22.34	23.19	23.11	27.82	31.01	27.50	10.50	15.35	24.65	25.52
8	Kebutuhan air neto (lt/dt/ha)	0.14	0.19	0.26	0.27	0.27	0.32	0.36	0.32	0.12	0.18	0.29	0.30
9	Efisiensi irigasi (%)	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
10	Kebutuhan air di Intake (lt/dt/ha)	0.18	0.24	0.34	0.35	0.35	0.42	0.47	0.41	0.16	0.23	0.37	0.38

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.4 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman KACANG TANAH

No.	Bulan Periode	Maret			April			Mei			Juni		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Pola Tata Tanam		KACANG TANAH											
1	Koefisien Tanaman	0.26	0.37	0.48	0.57	0.63	0.65	0.61	0.47	0.30			
			0.26	0.37	0.48	0.57	0.63	0.65	0.61	0.47	0.30		
				0.26	0.37	0.48	0.57	0.63	0.65	0.61	0.47	0.30	
2	Rata-rata Koef. Tanaman	0.26	0.32	0.37	0.42	0.51	0.58	0.62	0.59	0.51	0.46	0.39	0.30
3	Evapotranspirasi Potensial (mm)	59.655	59.655	65.62	42.896	42.896	42.896	45.126	45.126	49.639	44.181	44.181	44.181
4	Air untuk tanaman (mm)	15.51	18.79	24.28	18.02	21.98	24.99	27.75	26.62	25.19	20.32	17.01	13.25
5	Hujan efektif (mm)	72.00	48.00	42.00	34.00	43.90	12.25	22.75	3.63	0.00	0.00	4.50	2.00
6	Rasio luas tanaman	0.17	0.50	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.50
7	Kebutuhan air neto (mm)	3.51	0.00	0.00	0.00	0.00	12.74	5.00	23.00	25.19	20.32	13.26	12.25
8	Kebutuhan air neto (l/dt/ha)	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.06	0.27	0.29	0.24	0.15	0.14
9	Efisiensi irigasi (%)	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
10	Kebutuhan air di Intake (l/dt/ha)	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.08	0.35	0.38	0.31	0.20	0.18

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.5 Kebutuhan Air Tanaman dalam lt/dt/Ha

Bulan	Periode	Jenis Tanaman			
		Padi	Jagung	Kedelai	Kacang Tanah
Maret	I	0,00			0,05
	II	0,35			0,00
	III	0,66			0,00
April	I	0,47			0,00
	II	0,37			0,00
	III	0,87			0,19
Mei	I	0,76	0,09	0,18	0,08
	II	1,00	0,13	0,24	0,35
	III	1,09	0,20	0,34	0,38
Juni	I	0,91	0,22	0,35	0,31
	II	0,66	0,22	0,35	0,20
	III	0,39	0,27	0,42	0,18
Juli	I	0,14	0,38	0,47	
	II		0,48	0,41	
	III		0,27	0,16	
Agustus	I		0,37	0,23	
	II		0,48	0,37	
	III		0,48	0,38	

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4.6 Kebutuhan Air untuk Tanaman

Bulan	Periode	Jenis Tanaman							
		Padi		Jagung		Kedelai		Kacang Tanah	
		(lt/dt/ha)	(m3)	(lt/dt/ha)	(m3)	(lt/dt/ha)	(m3)	(lt/dt/ha)	(m3)
			(1)		(2)		(3)		(4)
Maret	I	0.00	0.00					0.05	45.59
	II	0.35	298.12					0.00	0.00
	III	0.66	573.20					0.00	0.00
April	I	0.47	403.22					0.00	0.00
	II	0.37	319.21					0.00	0.00
	III	0.87	753.93					0.19	165.42
Mei	I	0.76	653.66	0.09	73.83	0.18	155.88	0.08	64.97
	II	1.00	865.41	0.13	114.18	0.24	210.88	0.35	298.69
	III	1.09	942.49	0.20	176.21	0.34	290.10	0.38	327.16
Juni	I	0.91	783.45	0.22	187.91	0.35	301.23	0.31	263.94
	II	0.66	567.74	0.22	189.72	0.35	300.17	0.20	172.20
	III	0.39	336.35	0.27	231.08	0.42	361.32	0.18	159.15
Juli	I	0.14	122.30	0.38	327.61	0.47	402.76		
	II			0.48	414.91	0.41	357.16		
	III			0.27	236.62	0.16	136.31		
Agustus	I			0.37	319.79	0.23	199.29		
	II			0.48	417.98	0.37	320.07		
	III			0.48	414.21	0.38	331.37		
Jumlah			6619.07		3104.05		3366.55		1497.12

Keterangan : (1) s/d (4) = $(q \times 10 \times 24 \times 60 \times 60) / (1000)$

Tabel 4.7 Analisa Usaha Tani Tiap Hektar Tanaman Tahun 1993
Kabupaten Bojonegoro

No.	Uraian Pekerjaan	Komoditi							
		Padi		Jagung		Kedelai		Kacang Tanah	
		Kg	Rp	Kg	Rp	Kg	Rp	Kg	Rp
1	Tenaga Kerja	-	398,500.0	-	250,750.0	-	250,000.0	-	130,000.0
a.	luar keluarga	-	115,000.0	-	90,000.0	-	95,000.0	-	90,000.0
b.	dalam keluarga								
2	Sarana Produksi								
a.	Bibit	40	24,000.0	30	45,000.0	40	50,000.0	25	25,000.0
b.	Urea	250	60,000.0	300	72,000.0	100	24,000.0	100	24,000.0
c.	ZA	100	24,000.0	-	0.0	100	24,000.0	50	12,000.0
d.	TSP	150	43,500.0	100	29,000.0	150	43,500.0	100	29,000.0
e.	KCl	50	14,500.0	-	-	50	14,500.0	50	14,500.0
f.	Carbofuran	21	48,300.0	-	-	-	-	-	-
g.	Pestisida (ltr)	2	22,000.0	2	22,000.0	5	120,000.0	2	22,000.0
h.	PPC	1	10,000.0	-	-	0.5	25,000.0	-	-
3	Pengeluaran lain-lain								
a.	Sewa tanah		30,000.0		225,000.0		200,000.0		100,000.0
b.	Pajak lahan		2,500.0		2,500.0		2,500.0		2,500.0
c.	Iuran HIPPA		10,000.0		12,500.0		15,000.0		10,000.0
4	Biaya yang nili dibayar		657,300.0		433,750.0		568,500.0		269,000.0
5	Biaya total usaha tani		802,300.0		748,750.0		863,500.0		459,000.0
6	Penerimaan	5883	1,911,975.0	2700	877,500.0	1800	1,725,000.0	1255	2,008,000.0
7	Pendapatan bersih		1,109,675.0		128,750.0		861,500.0		1,549,000.0

Sumber : Dinas Perikanan Tanaman Pangan Daerah Kab. Bojonegoro dan BPS Jatim

BAB V

PERHITUNGAN MODEL OPTIMASI

5.1 Tinjauan Umum

Pemakaian metode optimasi dalam studi ini merupakan salah satu usaha untuk mengatasi masalah pengelolaan dan pemanfaatan air. Di samping itu juga ditujukan pada pengembangan daerah, agar daerah tersebut dapat menghasilkan keuntungan yang maksimal.

Pengembangan daerah irigasi Waduk Pacal diharapkan mampu mengatasi masalah ketidak-seimbangan air pada daerah itu. Oleh karena itu diperlukan cara untuk menentukan pengembangan, dalam hal ini dengan menentukan luas masing-masing jenis tanaman yang ada pada daerah itu. Hal ini didasarkan pada tersedianya air irigasi pada waduk. Selanjutnya digunakan analisa optimasi agar pembagian luasan tersebut di atas benar-benar optimal dan mendapatkan hasil yang maksimal.

Pemecahan masalah-masalah yang berhubungan dengan kegiatan-kegiatan untuk memperoleh hasil yang optimal, dapat diselesaikan dengan 2 pendekatan yaitu :

1. Optimasi
2. Simulasi

Optimasi adalah suatu cara untuk membuat nilai suatu fungsi agar beberapa variabel menjadi maksimum atau minimum dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada.

Sedangkan simulasi, perhitungan dilakukan dengan cara matematika "trial and error". Caranya yaitu masing-masing peubah diberi harga, kemudian harga sasarananya dihitung.

Dalam studi ini untuk memperoleh penyelesaian yang optimal dilakukan dengan model optimasi. Persamaan yang digunakan adalah persamaan linear, sehingga cara ini disebut Linear Programming.

Langkah-langkah untuk melakukan perhitungan dengan program linear pada persoalan ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan model optimasi
2. Menentukan peubah-peubah yang akan dioptimalkan (dalam persoalan ini adalah luas tiap-tiap jenis tanaman)
3. Menghitung harga batasan-batasan yang ada dalam persamaan model optimasi (pada Bab III dan Bab IV)
4. Penyusunan model matematika

Model matematika dalam analisis optimasi terdiri dari :

1. Fungsi sasaran/tujuan :

Fungsi ini merupakan rumusan dari tujuan pokok, yaitu hubungan antara peubah-peubah yang akan dioptimalkan.

Bentuk fungsi ini misalnya :

- a. memaksimalkan : nilai keuntungan

- b. meminimalkan : waktu, kerugian
- 2. Persamaan kendala (persamaan yang membatasi) :
Persamaan ini merupakan persamaan yang membatasi kegunaan utama.
Batasan-batasan ini misalnya biaya, kapasitas waduk, debit, luas areal irigasi.

5.2 Model Matematika Optimasi

Untuk mencari pendekatan antara kenyataan yang ada dengan metode yang dipakai, maka analisis ini dilakukan dengan mengambil batasan-batasan sebagai berikut:

1. Daerah irigasi Pacal seluas 15.521 Ha, dianggap seluruhnya ditanami dengan padi, jagung, kedelai dan kacang tanah.
2. Berdasarkan pertimbangan faktor-faktor sosial ekonomi maka luas masing-masing tanaman diberi batasan sebagai berikut :
 - a. Luas padi minimal 10 % dari luas areal seluruhnya.
 - b. Luas tiap-tiap jenis palawija minimal 5 % dari luas areal seluruhnya.
3. Pendekatan perhitungan optimasi didasarkan pada satu musim, yaitu musim kemarau. Dalam analisis ini dilakukan pada bulan Maret sampai dengan Agustus.

Model matematika yang digunakan dalam analisis optimasi ini adalah sebagai berikut :

1. Persamaan sasaran/tujuan :

$$\{\text{maksimumkan}\} \quad Y = A X_p + B X_j + C X_k + D X_t$$

adapun :

Y = keuntungan dalam rupiah

X_p, X_j, X_k , dan X_t = luas tanaman padi, jagung, kacang tanah dan kedelai dalam hektar.

A, B, C , dan D = harga pendapatan bersih (net benefit) untuk masing-masing jenis tanaman dalam Rp/Ha (tabel 4.7)

Dengan harga pendapatan bersih untuk masing-masing jenis tanaman yang sudah ditentukan, maka persamaan tersebut menjadi :

$$\{\text{maksimumkan}\} \quad Y = 1.109.675 X_p + 128.750 X_j - 861.500 X_k + 1.549.000 X_t$$

2. Persamaan kendala :

$$V_p \cdot X_p + V_j \cdot X_j + V_k \cdot X_k - V_t \cdot X_t \leq V_w$$

$$X_p + X_j + X_k + X_t \leq 15.521$$

$$X_p \geq 1552,1$$

$$X_j \geq 776,05$$

$$X_k \geq 776,05$$

$$X_t \geq 776,05$$

adapun :

V_p, V_j, V_k dan V_t = kebutuhan air untuk tanaman padi, jagung, kedelai dan kacang tanah selama pertumbuhan dalam m^3/ha .

V_w = jumlah air yang tersedia di waduk untuk irigasi, m^3
= 34.115.170 m^3

Setelah dilakukan perhitungan-perhitungan pada bab sebelumnya (tabel 4.6), maka persamaan kendala tersebut menjadi :

(1). $6619.07 X_p + 3104.05 X_j + 3366.55 X_k + 1497.12 X_t \leq 34.115.170$

(2). $X_p + X_j + X_k + X_t \leq 15.521$

(3). $X_p \geq 1552,1$

(4). $X_j \geq 776,05$

(5). $X_k \geq 776,05$

(6). $X_t \geq 776,05$

5.3 Hasil Optimasi

Persamaan sasaran dan kendala pada studi ini, selanjutnya diselesaikan dengan bantuan peralatan komputer menggunakan perangkat lunak Lotus 1-2-3 release 4.0 for Windows dengan fasilitas *Solver*.

Dengan memasukkan persamaan-persamaan tersebut, maka hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$X_p = 1552,10 \text{ Ha}$$

$$X_j = 776,05 \text{ Ha}$$

$$X_k = 776,05 \text{ Ha}$$

$$X_t = 12.416,80 \text{ Ha}$$

$$Y = \text{Rp. } 21.724.433.280,-$$

Dengan melihat hasil yang didapat dalam proses *running* diatas maka dapat dihitung besarnya intensitas tanaman selama dua periode musim tanam yaitu musim kemarau I dan musim kemarau II sebesar 178.999 %. Tidak tercapainya intensitas tanaman mendekati 200 % selama dua musim tanam tersebut dikarenakan dalam perhitungan optimasi ini, hanya dibatasi oleh luas tanaman maksimum sebesar 15.521 Ha, yaitu hanya daerah yang bebas banjir saja, sedangkan luas baku sawah sebesar 17.342 Ha. Untuk periode musim rendeng besarnya intensitas tanaman diambil dari data eksploitasi Waduk Pacal yaitu sebesar 92.89 % untuk tahun 1994. Jadi total intensitas tanaman untuk ketiga musim tanam adalah sebesar $178.999 \% + 92.89 \% = 271.889 \%$.

Dibandingkan dengan data eksploitasi yang ada untuk tahun 1994, besarnya intensitas tanaman total untuk ketiga musim tanam adalah sebesar 269.30 %. Jadi dengan diadakannya perhitungan optimasi seperti yang dilakukan di muka terdapat peningkatan intensitas tanaman sebesar 2.599 %.

5.4 ANALISIS SENSITIVITAS

Analisis sensitivitas dirancang untuk mempelajari pengaruh perubahan dalam parameter model Linear Programming (LP) terhadap pemecahan optimum. Analisis seperti ini dipandang sebagai bagian integral dari pemecahan (yang diperluas) dari setiap masalah LP. Analisis ini memberikan karakteristik dinamis pada model yang memungkinkan seorang analis untuk mempelajari perilaku pemecahan optimum sebagai hasil dari perubahan dalam parameter model. Tujuan akhir dari analisis ini adalah untuk memperoleh informasi tentang pemecahan optimum yang baru dan yang dimungkinkan (yang disesuaikan dengan perubahan dalam parameter tersebut) dengan perhitungan tambahan yang minimal.

Analisis sensitivitas terutama sangat sesuai untuk mempelajari pengaruh variasi dalam koefisien biaya/laba dan dalam jumlah sumber daya yang tersedia terhadap pemecahan optimum.

Hasil perhitungan optimasi di atas dengan asumsi bahwa keuntungan bersih (*net benefit*) yang disusun di dalam persamaan fungsi tujuan/sasaran adalah tetap dan dengan persamaan kendala yang tetap pula. Bila koefisien dari fungsi tujuan berubah sesuai dengan perkembangan harga, serta persamaan kendalanya juga berubah, misalnya pengurangan/penambahan luas baku, nilai keuntungan optimum juga berubah. Dan ini dapat diamati dengan melakukan analisis sensitivitas dengan menggunakan perangkat lunak TORA seperti pada tabel 5.2. Sasaran dari sudut pandang analisis

sensitivitas ini adalah menentukan kisaran variasi dalam setiap koefisien fungsi tujuan yang akan membuat pemecahan optimum (tabel 5.1) saat ini tetap tidak berubah. Jadi dari tabel 5.2 dapat dilihat bahwa besarnya kisaran koefisien (maksimum dan minimum) dari fungsi tujuan, seperti untuk koefisien padi (X_p), jagung (X_j) dan kedelai (X_k) adalah $[-\infty, 1549000]$ serta koefisien kacang tanah (X_t) adalah $[1109675, \infty]$ dengan tidak mempengaruhi pemecahan optimum dari luasan masing-masing tanaman. Sedangkan untuk ruas kanan dari pembatas (*constraints*) mempunyai kisaran yang tidak mempengaruhi pemecahan optimum sebagai berikut :

pembatas 1	minimum : 33884.4100 ;	maksimum : $+\infty$
pembatas 2	minimum : 3880.2490 ;	maksimum : 15675.1555
pembatas 3	minimum : 0.0000 ;	maksimum : 1597.1588
pembatas 4	minimum : 0.0000 ;	maksimum : 919.6712
pembatas 5	minimum : 0.0000 ;	maksimum : 899.5043
pembatas 6	minimum : $-\infty$;	maksimum : 12416.8010

Di luar dari ketentuan/batasan-batasan tersebut di atas baik untuk koefisien dari fungsi tujuan maupun ruas kanan dari pembatas akan mempengaruhi pemecahan optimum dari hasil perhitungan semula (tabel 5.1).

5.5 Kebutuhan Air Irigasi berdasarkan Hasil Optimasi.

Berdasarkan hasil optimasi yang diperoleh, maka besarnya kebutuhan air irigasi dipantu pengambilan dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.1
Solver Table Report - Answer table

Answers

Cell	Name	Lowest value	Highest value	Optimal (#1)	2	3	4	5	6	7	8
A:E2	Benefit	Rp. 3.392.911,530	Rp. 21.724.433,280	Rp. 21.724.433,280	Rp. 21.704.836,847	Rp. 21.659.554,260	Rp. 21.620.445,880	Rp. 21.571.600,963	Rp. 21.503.303,551	Rp. 21.426.343,018	Rp. 21.352.911,530

Adjustable cells

Answers

Cell	Name	Lowest value	Highest value	Optimal (#1)	2	3	4	5	6	7	8
A:A2	Xp	1,552.10	4,219.80	1,552.10	1,597.16	1,552.10	1,552.10	1,552.10	4,219.80	1,552.10	1,552.10
A:B2	Xj	776.05	5,164.86	776.05	776.05	776.05	919.68	776.05	776.05	5,164.86	776.05
A:C2	Xk	776.05	5,021.30	776.05	776.05	889.51	776.05	5,021.30	776.05	776.05	776.05
A:D2	Xt	776.05	12,416.80	12,416.80	12,371.74	12,253.92	12,273.17	776.05	776.05	776.05	776.05

Worksheet: BAB5/2014

Keterangan :

- Xp = luas tanaman padi (Ha)
- Xj = luas tanaman jagung (Ha)
- Xk = luas tanaman kedelai (Ha)
- Xt = luas tanaman kacang tanah (Ha)

Tabel 5.2

*** SENSITIVITY ANALYSIS ***

Objective coefficients -- Single Changes:

Variable	Current Coeff	Min Coeff	Max Coeff	Reduced Cost
x1 Xp	1109675.0000	-infinity	1549000.0000	0.0000
x2 Xj	128750.0000	-infinity	1549000.0000	0.0000
x3 Xk	861500.0000	-infinity	1549000.0000	0.0000
x4 Xt	1549000.0000	1109675.0000	infinity	0.0000

Right-hand Side -- Single Changes:

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	34115.1992	33884.4100	infinity	0.0000
2 (<)	15521.0000	3880.2490	15675.1555	1549000.0000
3 (>)	1552.1000	0.0000	1597.1588	-439325.0000
4 (>)	776.0500	0.0000	919.6712	-1420250.0000
5 (>)	776.0500	0.0000	899.5043	-687500.0000
6 (>)	776.0500	-infinity	12416.8010	0.0000

Tabel 5.3 Kebutuhan Air untuk Irigasi (Qintake)

Bulan	Periode	Jenis Tanaman								Qintake (m3/dt)	Q rata-rata (m3/dt)
		Padi		Jagung		Kedelai		Kacang Tanah			
		(lt/dt/ha)	(m3/ha)	(lt/dt/ha)	(m3/ha)	(lt/dt/ha)	(m3/ha)	(lt/dt/ha)	(m3/ha)		
Maret	I	0.00	0.00		(2)		(3)		(4)		
	II	0.35	298.12					0.05	45.59	0.655	
	III	0.66	573.20					0.00	0.00	0.536	0.708
April	I	0.47	403.22					0.00	0.00	0.724	
	II	0.37	319.21					0.00	0.00	0.573	1.603
	III	0.87	753.93					0.19	165.42	3.732	
Mei	I	0.76	653.66	0.09	73.83	0.18	155.88	0.08	64.97	2.314	
	II	1.00	865.41	0.13	114.18	0.24	210.88	0.35	298.69	6.139	4.866
	III	1.09	942.49	0.20	176.21	0.34	290.10	0.38	327.16	6.814	
Juni	I	0.91	783.45	0.22	187.91	0.35	301.23	0.31	263.94	5.640	
	II	0.66	567.74	0.22	189.72	0.35	300.17	0.20	172.20	3.935	4.143
	III	0.39	336.35	0.27	231.08	0.42	361.32	0.18	159.15	3.423	
Juli	I	0.14	122.30	0.38	327.61	0.47	402.76			0.876	
	II			0.48	414.91	0.41	357.16			0.593	0.607
	III			0.27	236.62	0.16	136.31			0.335	
Agustus	I			0.37	319.79	0.23	199.29			0.466	
	II			0.48	417.98	0.37	320.07			0.663	0.573
	III			0.48	414.21	0.38	331.37			0.670	
Jumlah			6.619.0715		3.104.0515		3.966.5464		1.497.1169		

Keterangan : (1) s/d (4) = $(q \times 10 \times 24 \times 60 \times 60) / (1000)$

$$(5) = \{(1) \times 1552.10 + (2) \times 776.05 + (3) \times 776.05 + (4) \times 12416.80\} / (10 \times 24 \times 60 \times 60)$$

BAB VI

SIMULASI KAPASITAS TAMPUNGAN WADUK PACAL

Pengertian umum tentang simulasi adalah merupakan suatu rancangan dalam pemecahan model-model perencanaan dengan meniru kelakuan sistem yang bersangkutan.

Dalam model simulasi, pemecahan dilakukan dengan cara coba-coba untuk mendekati pemecahan optimal. Caranya yaitu masing-masing peubah penentu diberi harga, kemudian harga sasaraannya dihitung. Kesulitan yang dihadapi adalah seringnya timbul sejumlah pemecahan yang sama-sama layak, sehingga seringkali memberikan pemecahan yang jauh dari pemecahan terbaik. Tetapi dengan mengetahui kaidah optimalnya, permasalahan tersebut dapat diatasi. Sedangkan keuntungan model tersebut antara lain dapat memecahkan perencanaan model untuk sumber daya air dengan hubungan non linearitas yang tinggi.

6.1 Analisis Simulasi

Metode simulasi adalah metode yang didasarkan pada hukum kontinuitas atau persamaan tampungan massa (*mass storage equation*). Adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

$$ST_{t+1} = ST_t + QF_t + PP_t - R_t - E_t \quad (6-1)$$

dengan batasan :

$$0 \leq ST_{t+1} \leq C$$

dengan :

ST_{t+1} = tampungan pada akhir periode waktu ke- $t + 1$

ST_t = tampungan pada awal periode ke- t

QF_t = debit masuk (*inflow*) selama periode ke- t

PP_t = hujan yang jatuh pada periode ke- t

R_t = *release* waduk selama periode ke- t

E_t = evaporasi selama periode ke- t

C = kapasitas tampungan aktif

Pada simulasi tampungan Waduk Pacal ini digunakan periode waktu bulanan dengan inflow berupa debit andalan yang telah dihitung dimuka.

6.2 Batasan-batasan

Batasan-batasan yang dipakai dalam perhitungan simulasi Waduk Pacal adalah sebagai berikut :

1. Debit inflow waduk adalah debit andalan dalam satu tahun dengan peluang 80 %.
2. Simulasi dilakukan dengan coba-coba debit outflow untuk irigasi

3. Untuk awal bulan operasi dipakai bulan Maret yaitu awal masa pengosongan waduk dengan anggapan pada awal bulan ini waduk dalam keadaan penuh (elevasi + 25.00-m).
4. Pada prinsipnya operasi Waduk Pacal berorientasi pada muka air waduk, maka debit outflow yang dikeluarkan sangat tergantung pada debit inflow yang masuk.
5. Keberhasilan simulasi ditinjau dalam satu periode (selama 1 tahun), jika terdapat 1 bulan kegagalan simulasi (elevasi muka air waduk $< + 12.00$ m, yang merupakan elevasi *dead storage*), maka simulasi dianggap gagal untuk keseluruhan.

6.3 Langkah-langkah Perhitungan

Besarnya tampungan efektif (*effective storage*) Waduk Pacal adalah $34.115.170 \text{ m}^3$. Hasil perhitungan simulasi tampungan Waduk Pacal untuk inflow debit andalan 80 % disajikan dalam tabel 6.1. Secara garis besar langkah-langkah perhitungan simulasi dan keterangan masing-masing kolom perhitungan adalah sebagai berikut :

- (1) = Bulan
- (2) = Jumlah hari dalam 1 bulan
- (3) = Tampungan awal bulan
- (4) = Elevasi awal bulan
- (5) = Debit inflow yang merupakan debit andalan

- (6) = Volume inflow ke dalam waduk

$$= ((5) \times (2) \times 24 \times 3600) / 1.000.000$$
- (7) = Luas genangan (gambar 6.1)
- (8) = Curah hujan efektif (tabel 3.15)
- (9) = Volume curah hujan efektif

$$= ((8) \times (2) \times 3,878) / 1.000$$
- (10) = Besarnya evaporasi (tabel 6.2)
- (11) = Volume evaporasi

$$= ((10) \times (2) \times (7)) / 1.000$$
- (12) = Kebutuhan air untuk irigasi (tabel 5.2)
- (13) = Volume kebutuhan air irigasi

$$= ((12) \times (2) \times 24 \times 3600) / 1.000.000$$
- (14) = Selisih antara inflow dan outflow

$$= (6) + (9) - (11) - (13)$$
- (15) = Tampung akhir

$$= (3) + (6) + (9) - (11) - (13)$$
- (16) = Spillout

$$= \text{jika } (15) \geq 41.588.450, \text{ maka spillout} = (15) - 41.588.450$$

$$\text{jika } (15) \leq 41.588.450, \text{ maka spillout} = 0$$

(17) = Elevasi akhir

Setelah tampungan akhir diketahui, dengan memakai gambar 6.1 maka dapat dicari elevasi akhir.

(18) = Kontrol kegagalan simulasi

jika $(17) \geq + 12.00$, maka simulasi sukses, tetapi

jika $(17) \leq + 12.00$, maka simulasi dianggap gagal.

6.4 Pembahasan

Dari hasil simulasi kapasitas tampungan waduk (seperti tabel 6.1) yang pengoperasiannya dimulai pada bulan Maret dapat dilihat bahwa secara keseluruhan terjadi surplus air untuk pola tanam yang dipilih. Elevasi akhir yang didapat dari tampungan masih berada di atas elevasi + 12.00 yang merupakan batas minimum dari pengoperasian waduk (*dead storage*).

Untuk beberapa kasus (seperti bulan Maret, April, Desember, Januari dan Februari) dapat dilihat bahwa tampungan akhir melebihi dari kapasitas tampungan maksimum yaitu 41.588.450 m³. Hal ini mengakibatkan terjadinya spillout melalui bendung. Untuk kasus seperti ini maka besarnya tampungan untuk awal bulan berikutnya hanya diperhitungkan sebesar 41.588.450 m³ yaitu pada elevasi + 25.00 dengan luas permukaan maksimum sebesar 3.878 Km².

Perbandingan pola pengoperasian waduk antara pengoperasian yang ada (existing) dengan pola pengoperasian hasil dari simulasi di atas, dapat dilihat pada tabel 6.3 serta pada gambar 6.2.

Dari tabel 6.3 dapat dilihat bahwa besarnya volume total inflow didapat dari tampungan awal ditambah volume inflow yang berasal dari debit andalan ditambah dengan volume inflow dari hujan, atau dengan memperhatikan tabel 6.1, volume total inflow (2) = kolom (3) + kolom (6) + kolom (9). Volume kebutuhan irigasi rencana (4) adalah volume kebutuhan untuk irigasi dari tabel 6.1. kolom (13). Sedangkan volume kebutuhan irigasi existing adalah volume pengeluaran air yang ada di lapangan (data didapat dari Cabang Dinas PU Pengairan Bojonegoro untuk tahun 1994). Volume limpahan seperti pada tabel 6.1. kolom (16). Saldo volume merupakan tampungan akhir dari bulan tersebut yang merupakan volume awal bulan berikutnya dan besarnya tidak melebihi kapasitas waduk total ($41.588.450 \text{ m}^3$).

Tabel 6.1 Simulasi Kapasitas Tampung Waduk Pacal

Elevasi maksimum : +25.00 pp
 Elevasi minimum : +12.00 pp

Bulan	Urut Hari	Tampung awal (10 ⁶ m ³)	Elevasi (m)	Dabit Inflow (m ³ /dt)	Volume Inflow (10 ⁶ m ³)	Luas genangan (Km ²)	Curah hujan (mm/hr)	Volume tujan (10 ⁶ m ³)	Evaporasi (mm/hr)	Volume Evaporasi (10 ⁶ m ³)	Kebutuhan Irigasi (m ³ /dt)	Volume Kebutuhan (10 ⁶ m ³)	I - O (10 ⁶ m ³)	Saklo Volume akhir (10 ⁶ m ³)	Spillout (10 ⁶ m ³)	Elevasi akhir (m)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
Mar	31	41.588450	25.00	2.27	6.080	3.878	182.000	19.475	5.00	0.601	0.708	1.886	23.059	61.647	23.059	25.000	SUKSES
Apr	30	41.588450	25.00	1.45	3.758	3.878	90.150	10.488	5.00	0.582	1.603	4.155	9.509	51.098	9.509	25.000	SUKSES
Mei	31	41.588450	25.00	0.52	1.393	3.878	26.375	3.171	5.00	0.601	4.866	13.034	-9.072	32.517	0.000	21.500	SUKSES
Jun	30	32.516613	21.50	0.25	0.648	3.330	6.500	0.756	5.00	0.500	4.143	10.739	-9.834	22.682	0.000	18.000	SUKSES
Jul	31	22.682350	18.00	0.12	0.321	2.740	15.250	1.833	5.00	0.425	0.607	1.526	0.104	22.787	0.000	18.100	SUKSES
Agst	31	22.786710	18.10	0.05	0.134	2.745	10.750	1.292	5.00	0.425	0.573	1.536	-0.535	22.252	0.000	17.800	SUKSES
Sep	30	22.251742	17.80	0.05	0.130	2.715	12.000	1.306	8.50	0.692	0.000	0.000	0.833	23.085	0.000	18.300	SUKSES
Ok	31	23.085097	18.30	0.06	0.161	2.775	34.375	4.132	9.00	0.774	0.000	0.000	3.519	28.604	0.000	19.500	SUKSES
Nov	30	26.604070	19.50	0.23	0.596	2.880	98.500	11.459	6.25	0.559	0.000	0.000	11.497	38.101	0.000	22.950	SUKSES
Dus	31	38.100370	22.95	1.37	3.663	3.585	182.333	18.515	6.00	0.667	0.000	0.000	22.518	60.619	19.031	25.000	SUKSES
Jan	31	41.588450	25.00	2.00	5.357	3.878	98.000	11.784	5.75	0.691	0.000	0.000	16.447	58.035	16.447	25.000	SUKSES
Feb	28	41.588450	25.00	3.02	7.306	3.878	102.375	11.116	5.50	0.597	0.000	0.000	17.825	59.414	17.825	25.000	SUKSES

**Tabel 6.2 Besarnya Pekolasi
Waduk Pacal**

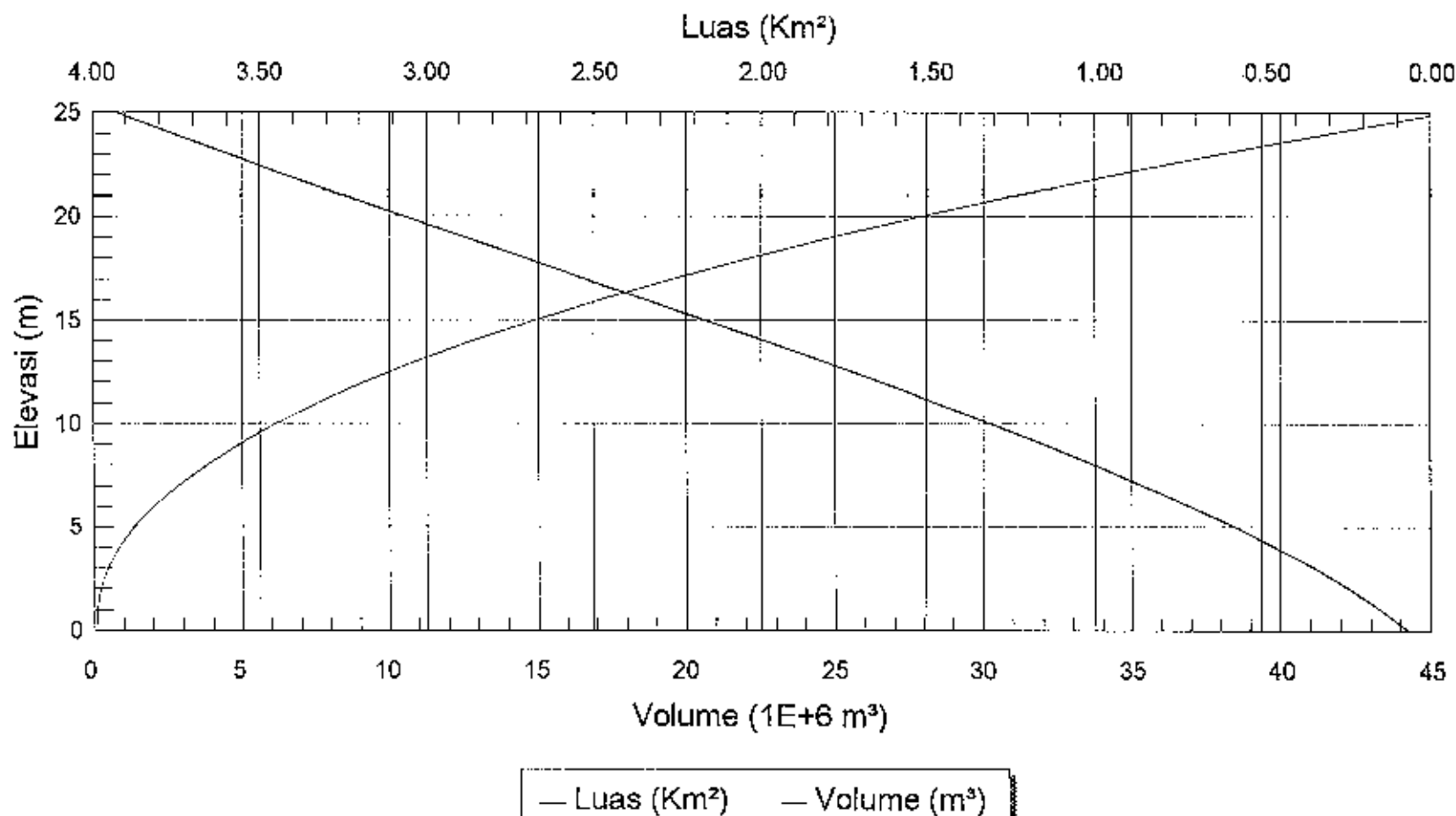
No.	Bulan	Evaporasi (mm/hari)
1	Januari	5.00
2	Februari	5.00
3	Maret	5.00
4	April	5.00
5	Mei	5.00
6	Juni	5.00
7	Juli	8.50
8	Agustus	9.00
9	September	6.25
10	Oktober	6.00
11	Nopember	5.75
12	Desember	5.50

Sumber : Cabang Dinas PU bojonegoro

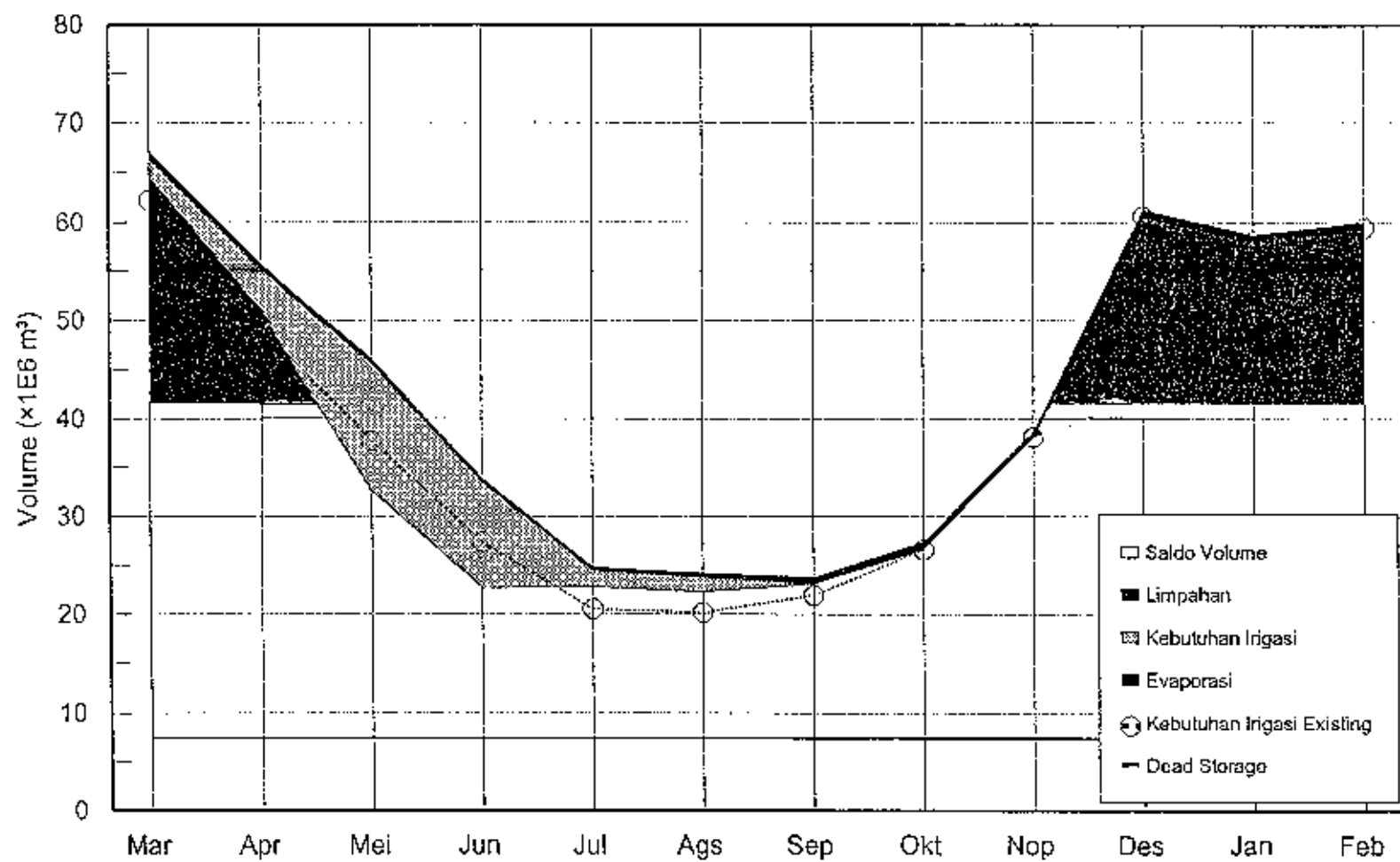
Tabel 6.3 Volume Inflow dan Outflow Waduk Pacal

Bulan	Volume total inflow (10 ⁶ m ³)	Volume evaporasi (10 ⁶ m ³)	Volume kebutuhan Irigasi		Volume limpahan (10 ⁶ m ³)	Saldo Volume (10 ⁶ m ³)
			rencana (10 ⁶ m ³)	existing (10 ⁶ m ³)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Maret	67.144	0.601	1.896	4.358	23.059	41.588
April	55.835	0.582	4.155	5.712	9.509	41.588
Mei	46.152	0.601	13.034	7.861	0.000	32.517
Juni	33.921	0.500	10.739	6.083	0.000	22.682
Juli	24.837	0.425	1.626	3.892	0.000	22.787
Agustus	24.213	0.425	1.536	3.632	0.000	22.252
September	23.777	0.692	0.000	1.196	0.000	23.085
Oktober	27.378	0.774	0.000	0.000	0.000	26.604
Nopember	38.660	0.559	0.000	0.000	0.000	38.101
Desember	61.286	0.667	0.000	0.000	19.031	41.588
Januari	58.727	0.691	0.000	0.000	16.447	41.588
Februari	60.011	0.597	0.000	0.000	17.825	41.588

LENGKUNG KAPASITAS TAMPUNGAN Dan LUAS PERMUKAAN WADUK PACAL



Gambar 6.1 Lengkung Kapasitas Tampung dan Luas Permukaan
Waduk Pacal



Gambar 6.2. GRAFIK VOLUME INFLOW/OUTFLOW

BAB VII

P E N U T U P

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan dengan memperhatikan batasan masalah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya kebutuhan air untuk tiap-tiap jenis tanaman selama masa pertumbuhan adalah sebagai berikut :

- Padi gadu membutuhkan air sebanyak $6.619,07 \text{ m}^3/\text{Ha}$ dengan mulai pada bulan Maret.
- Jagung membutuhkan air sebanyak $3.104,05 \text{ m}^3/\text{Ha}$ dengan mulai pada bulan Mei.
- Kedelai membutuhkan air sebanyak $3.366,55 \text{ m}^3/\text{Ha}$ dengan mulai pada bulan Mei.
- Kacang tanah membutuhkan air sebanyak $1.497,12 \text{ m}^3/\text{Ha}$ dengan mulai pada bulan Maret.

2. Luas masing-masing jenis tanaman hasil optimasi adalah sebagai berikut :

- Padi gadu = 1.552,10 Ha
- Jagung = 776,05 Ha
- Kedelai = 776,05 Ha
- Kacang tanah = 12.416,80 Ha

3. Keuntungan maksimal yang diperoleh dari tanaman seluas tersebut di atas sebesar Rp. 21.724.433.280,-
4. Berdasarkan luas areal yang didapat, maka besarnya kebutuhan air yang harus disediakan oleh waduk adalah sebagai berikut :
- bulan Maret = 0,708 m³/dt
 - bulan April = 1,603 m³/dt
 - bulan Mei = 4,866 m³/dt
 - bulan Juni = 4,143 m³/dt
 - bulan Juli = 0,607 m³/dt
 - bulan Agustus = 0,573 m³/dt
5. Terjadinya peningkatan intensitas tanaman dari 269,30 % menjadi 271,889 %.
6. Dengan melakukan simulasi kapasitas tampungan Waduk Pacal dapat dilihat bahwa pengoperasian waduk dimulai pada bulan Maret, sehingga didapatkan pola pengoperasian waduk dalam waktu 1 tahun dengan sukses.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1980. Pedoman dan Kriteria Perencanaan Teknis Irigasi, DPU Direktorat Jenderal Pengairan Direktorat Irigasi Sub Direktorat Perencanaan Teknis.
- Akhmad Dimiyati, Tjutju Tarlih Dimiyati. 1987. Operations Research, Model-model Pengambilan Keputusan, Penerbit Sinar Baru, Bandung.
- Anwar, Nadjadji. 1986. Rekayasa Pengembangan Sumber Daya Air, Penerbit Kartika Yudha, Surabaya.
- Hamdy A. Taha. 1993. Operations Research : An Introduction
- Linsley, Ray K, JR, Max A Kohler dan Josep LH Paulhus. 1975. Hydrology for Engineers, Mc. Graw Hill. Kogakusha LTD.
- PT. Virama Karya, Cabang Jawa Timur. 1992. Persiapan Operasi dan Pemeliharaan (PROM) Manual Operasi dan Pemeliharaan D.I Pacal.
- Sadeli Wiramihardja. 1979. Hidrologi Pertanian, Himpunan Mahasiswa Sipil ITB, Bandung.
- Soemarto, CD. 1987. Hidrologi Teknik, Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.
- Sosrodarsono Suyono dan Takeda Kensaku (Editor). 1980. Hidrologi Untuk Pengairan, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sri Harto BR. JR, Dip.H. 1983. Mengenal Dasar Hidrologi Terapan, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Subarkah Imam. 1980. Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air, Penerbit Idhea Dharma, Bandung.
- Suhardjono, 1989, Kebutuhan Air Tanaman, Malang.

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA : FRANS WIJAYA
NRP : 392 310 1163
JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI OPTIMASI PENGOPERASIAN
WADUK PACAL

No.	Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	2-11-94	Sempurnakan format studi lanjutan	nt
2.	15/12/94	- Debit inflow ?	nt
3.	14/2/95	- Analisa menyusun data inflow - Alternatif pola tanam & kebutuhan air irigasi - Pilih model optimasi	nt
4.	27/2/95	- Studi pengoperasian waduk, menggunakan data FPR dari Dinas.	nt
5.	17/4/95	- Hitung LPR & selisihnya keseluruhan air di Bendang	nt
6.	15/6/95	- LPR → data rata ² - lanjutkan simulasi optimasi	nt

Dosen Pembimbing,

(Ir.Nadjadi Anwar MSc.)

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA : FRANS WIJAYA
NRP : 392 310 1163
JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI OPTIMASI PENGOPERASIAN
WADUK PACAL

No.	Tanggal	Kegiatan	Paraf
7.	11/8-9/5	Langkah awal model & data	RA
8.	4/9/95	Lakukan analisis pengoperasian waduk (reservoir operation) menggunakan data debit debit sesuai hasil optimasi	RA
9	18/9/95	Maju idang & bandingkan potensi tenaga	RA
10	5/10/95	Diperbaiki & dijilid	RA

Dosen Pembimbing,

(Ir.Nadjadji Anwar MSc.)